

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для виконання практичних, розрахунково-графічної та самостійної робіт
з навчальної дисципліни

**«ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
В ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ»**

*(для студентів 1 курсу денної форми навчання
спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій
спеціалізації (освітньої програми) «Геоінформаційні системи і технології»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2017

Методичні вказівки для виконання практичних, розрахунково-графічної та самостійної робіт з навчальної дисципліни «Технології підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах» (для студентів 1 курсу денної форми навчання спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій спеціалізації (освітньої програми) «Геоінформаційні системи і технології») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. І. С. Творошенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 99 с.

Укладач канд. техн. наук **І. С. Творошенко**

Рецензенти:

К. О. Метешкін, доктор технічних наук, професор Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

А. А. Євдокімов, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою геоінформаційних систем, оцінки землі та нерухомого майна, протокол № 1 від 29.08.2016 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ.....	5
1.1 Основні поняття процесу підтримки прийняття рішень.....	5
1.2 Оцінювання та вибір методів підтримки прийняття рішень.....	23
1.3 Основні типи задач прийняття рішень.....	33
1.4 Методи оцінки та порівняння багатокритеріальних альтернатив.....	42
1.5 Особливості застосування технологій підтримки прийняття рішень.....	47
1.6 Сучасні технології підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах.....	62
2 ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ.....	69
2.1 Структура розрахунково-графічної роботи.....	69
2.2 Правила оформлення розрахунково-графічної роботи.....	73
2.3 Приклади бібліографічного опису в переліку посилань.....	76
2.4 Критерії оцінювання розрахунково-графічної роботи.....	77
3 ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	78
3.1 Методологія побудови інтелектуальних систем прийняття рішень.....	78
3.2 Системна парадигма як підґрунтя прийняття рішень.....	81
3.3 Послідовність кроків вирішення проблем та прийняття рішень.....	83
3.4 Багатокритеріальні задачі прийняття рішень.....	93
3.5 Нечітка багатокритеріальна ієрархічна модель прийняття рішень.....	94
3.6 Використання генетичних алгоритмів та штучних нейронних мереж у прийнятті рішень.....	95
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	97

ВСТУП

Технології підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах мають широкі можливості інтеграції і сумісного аналізу різнорідних даних та є незамінним інструментом для вирішення задач управління.

Геоінформаційні системи та технології підтримки прийняття рішень застосовуються під час автоматизації обробки інформації про об'єкти будь-якого походження: штучні чи природні, моніторинг, опис, аналіз, моделювання стану яких і прийняття управлінських рішень щодо поліпшення їх характеристик є неповним без просторового аналізу.

Найбільш поширеними на практиці є багатокритеріальні моделі, в яких структура моделі визначається як набір найбільш істотних факторів (критеріїв) і зв'язків між ними.

У рамках дисципліни «Технології підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах» розглядаються методи дій, які не використовують чисел та збільшують шанси на вибір розумних рішень в складних, суперечливих і не до кінця визначених ситуаціях. Вербальний аналіз рішень спрямований на дослідження неструктурованих проблем не кількісними, а логічними способами.

Дисципліна «Технології підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах» передбачена навчальним планом підготовки магістрів на 1 курсі денної форми навчання спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій спеціалізації (освітньої програми) «Геоінформаційні системи і технології».

Методичні вказівки охоплюють основні розділи дисципліни щодо технологій підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах та мають на меті сформулювати у студентів комплекс теоретичних знань та методологічних основ в області технологій підтримки прийняття рішень, а також практичних навичок щодо їх застосування в геоінформаційних системах.

Завданням дисципліни «Технології підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах» є вивчення технологій підтримки прийняття рішень на основі прикладного штучного інтелекту та формування навичок використання сучасних геоінформаційних технологій і програмних засобів для вирішення проблемних ситуацій.

Методичні вказівки написані з таким розрахунком, щоб студенти вивчили теоретичний матеріал за рекомендованими джерелами, виконали практичні та розрахунково-графічну роботи, опрацювали теми самостійної роботи та підготувалися до екзамену з даної дисципліни.

1 ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

1.1 Основні поняття процесу підтримки прийняття рішень

Мета роботи: детальний розгляд методів інформаційної підготовки до прийняття рішень при довільному числі критеріїв та формування вміння і навичок їх практичного використання.

Теоретичні відомості щодо інформаційної підготовки до прийняття рішень при малій кількості критеріїв

Прийняття рішень – це надзвичайно складний процес, який супроводжується психологічними, організаційними і технічними труднощами.

Прийняття рішень – процедура вибору найкращої альтернативи із заданої множини на підставі певного критерію або множини критеріїв [1].

Вибір – дія, що дозволяє організувати цілеспрямовану діяльність людини.

Альтернатива – необхідність вибору між двома чи кількома можливостями, які взаємно виключають одна одну [1].

Критерій – ознака, на підставі якої проводиться оцінка, визначення або класифікація чого-небудь (мірило оцінки) [1].

Завдання прийняття рішень рідко формулюються у «чистому» вигляді, коли чітко задано множину альтернатив, що мають певні оцінки за відомими показниками. Виникає необхідність порівняти альтернативи між собою за допомогою будь-якого методу і вибрати серед них найкращу або задовільну.

Рішення – результат вибору з кількох альтернатив, який фіксується у певній формі [1].

Однак, у реальному житті все не так просто. Перед тим, як зробити вибір, необхідно провести величезну роботу – виконати діагноз вирішуваної проблеми, зібрати інформацію про альтернативи і фактори, що впливають на результати рішень, оцінити наслідки кожної альтернативи, організувати (якщо це необхідно) їх колективне обговорення і вирішити багато інших завдань.

Виконати весь обсяг цієї роботи одній людині не під силу, тому в прийнятті рішень, зазвичай, беруть участь різні люди або групи людей, які виконують в цьому процесі певні ролі.

Серед них виділяють п'ять основних ролей [2]:

- власник проблеми;
- особа, яка приймає рішення (ОПР);
- активна група;
- експерт;
- аналітик.

У будь-якій реальній задачі вибору існує людина, яка відповідає за вирішення виниклої проблеми та має назву – власник проблеми.

Власник проблеми – це людина, яка, на думку оточуючих або за своїм службовим становищем, повинна вирішувати проблему і нести відповідальність за прийняті рішення. Ці рішення зазвичай безпосередньо впливають на стан і добробут власника проблеми.

Наприклад, власники всіх проблем в організаціях – це керівники організацій, які, однак, можуть доручити вирішення цих проблем іншим людям, делегуючи їм частину своїх повноважень.

Ключову роль у процесі прийняття рішень займає особа, яка приймає рішення, яка не завжди є власником проблеми.

Особа, яка приймає рішення – це людина або група людей, які реально здійснюють вибір і несуть відповідальність за прийняті рішення відповідно до своїх повноважень.

Якщо рішення приймається групою людей, то в цьому випадку можна використовувати термін «група, яка приймає рішення» (ГПР).

На практиці можливі три різні ситуації, виходячи зі співвідношення ролей власника проблеми та ОПР [3]:

- власник проблеми і ОПР – одна і та ж сама людина.

У цьому випадку власник проблеми нікому не довіряє її рішення, крім себе самого, він збирає інформацію, спілкуючись зі своїми підлеглими, радиться з ними, вдається до послуг експертів і аналітиків, але остаточне рішення власник проблеми завжди приймає самостійно;

- власник проблеми входить до складу групи, яка приймає рішення.

У цій ситуації власник проблеми є лише одним з кількох людей, які беруть участь в її вирішенні. Причому, незважаючи на більш високий статус і положення всередині групи, власник проблеми має рівні права з іншими учасниками обговорення.

У цьому випадку він не може прийняти рішення одноосібно і погоджується з будь-яким рішенням, прийнятим усією групою;

– власник проблеми і ОПР – різні люди.

Такі ситуації виникають, якщо власник проблеми, наприклад керівник організації, «перекладає» прийняття рішень на інших людей (своїх підлеглих, консультантів, експертів) і дає їм для цього необхідні повноваження.

У цьому випадку власник проблеми не знімає з себе відповідальності, але заздалегідь погоджується з будь-яким рішенням, яке буде прийнято іншою людиною або групою.

На прийняття рішень може сильно впливати позиція активних груп.

Активна група – це група людей, що мають спільні інтереси по відношенню до розв’язуваної проблеми.

Керівник активної групи – керівник групи фахівців, що мають загальні інтереси і прагнуть зробити вплив на процес вибору.

Як правило, роль активної групи виконують інші організації, які так чи інакше зацікавлені у вирішенні виниклої проблеми.

Наприклад, активною групою можна вважати громадську організацію по захисту навколишнього середовища, протестуючу проти рішення про будівництво нового промислового підприємства в екологічно чистому районі.

Активною групою може бути конкуруюча організація, яка намагається перешкодити здійсненню ваших планів і пропонує «домовитися», тобто знайти компромісне вирішення проблеми. Теоретично ОПР може виходити тільки зі своїх інтересів і не зобов’язана враховувати думку активних груп, але практично така позиція може призвести до загострення конфлікту і небажаних наслідків у майбутньому. Тому ОПР завжди бере до уваги інтереси активних груп, враховуючи їх позиції і критерії вибору в процесі прийняття рішень.

У процесі прийняття рішень важливу роль відіграють експерти – люди, які професійно краще, ніж ОПР, знають окремі аспекти проблеми і виступають в ролі джерела інформації, необхідної для прийняття рішення.

Експерт – професіонал у своїй проблемній області.

До експертів, зазвичай, звертаються, щоб з’ясувати причини виниклої проблеми, розробити варіанти її вирішення, оцінити кожен альтернативу та зробити прогноз розвитку подій.

Надаючи необхідну інформацію, експерти висловлюють свою суб’єктивну думку. Однак, якщо експерт, будучи професіоналом у своїй справі, неупереджено оцінює ситуацію, то його оцінки близькі до об’єктивних.

Слід пам’ятати, що експертна інформація – це не рішення, а лише корисна інформація, яка допомагає прийняти рішення. Приймати рішення на основі своїх уподобань може тільки ОПР. Експерти відповідають тільки за свої рекомендації. Думки експертів і ОПР можуть не збігатися.

У підготовці складних рішень, що мають, зазвичай, стратегічний характер, беруть участь аналітики (або консультанти по прийняттю рішень), їх роль полягає в раціональній організації процесу прийняття рішень.

Консультант щодо ухвалення рішень – координатор процесу прийняття рішень [4].

Аналітики виконують такі основні функції [4]:

- надання допомоги ОПР і власнику проблеми в правильній постановці завдання;

- виявлення ролей і позицій активних груп;

- організація роботи з експертами;

- виявлення переваг ОПР;

- розробка та застосування методів прийняття рішень.

Аналітик, на відміну від експерта, зазвичай, не дає ніяких особистих оцінок, а тільки допомагає ОПР усвідомити свої переваги, зважити всі «за» і «проти» і прийти до розумного компромісу.

ОПР організує всі процедури прийняття рішень із залученням вказаних фахівців і ухвалює рішення.

Прийняття рішення полягає у виконанні послідовності таких процедур:

- аналіз проблеми, вибір мети, задля якої проводиться вибір;

- оцінка ступеня узгодженості мети;

- формулювання множини альтернатив, з яких здійснюється вибір;

- аналіз і оцінка наслідків реалізації кожної з альтернатив;

- формулювання критерію порівняння, тобто правила, за допомогою якого визначається перевага альтернатив;

- визначення режиму вибору: однократний або багатократний;

- оцінка ситуації, в якій проводиться вибір;

- визначення типу відповідальності: індивідуальна або групова;

- реалізація вибраного варіанта дій.

Варіанти дій прийнято називати альтернативами.

Альтернативи – невід’ємна частина проблеми прийняття рішень: якщо нема з чого вибирати, то немає і вибору. Отже, для постановки задачі прийняття рішень необхідно мати хоча б дві альтернативи.

Альтернативи бувають [5]:

- незалежними;

- залежними.

Незалежними є ті альтернативи, будь-які дії з якими (виділення як єдиної кращої, видалення з розгляду) не впливають на якість інших альтернатив.

При залежних альтернативах оцінки одних з них впливають на якість інших. Є різні типи залежності альтернатив. Найбільш простою і очевидною є безпосередня групова залежність: якщо вирішено розглядати хоча б одну альтернативу з групи, то потрібно розглядати і всю групу.

У сучасній науці про прийняття рішень вважається, що варіанти рішень характеризуються різними показниками їх привабливості для ОПР.

Ці показники називають ознаками, факторами, атрибутами або критеріями. У подальшому використаємо термін «критерій».

Будемо називати *критеріями оцінки альтернатив* показники їх привабливості (або непривабливості) для учасників процесу вибору.

У професійній діяльності вибір критеріїв часто визначається багаторічною практикою, досвідом. У переважній більшості задач є досить багато критеріїв оцінок варіантів рішень, ці критерії можуть бути незалежними або залежними. Використання критеріїв для оцінки альтернатив вимагає визначення градацій якості: кращих, гірших і проміжних оцінок. Інакше кажучи, існують шкали оцінок за критеріями.

Шкала – це інструмент (прийнята система правил) оцінки (вимірювання) якості яких-небудь об'єктів або явищ.

Якість є найповнішою характеристикою будь-якого об'єкта. Якість виражає визначеність об'єкта у вигляді сукупності різних властивостей, що виявляються у взаємодії об'єкта із зовнішнім середовищем.

У прийнятті рішень прийнято розрізняти шкали безперервних і дискретних оцінок, шкали кількісних і якісних оцінок.

Розрізняють чотири рівні вимірювання (типи шкал) [6]:

- найменувань;
- порядку (рангова);
- інтервалів (рівних інтервалів);
- відношень (пропорціональних оцінок).

Герберт Саймон виділяє у процесі прийняття рішень три етапи [7]:

- пошук інформації;
- пошук і знаходження альтернатив;
- вибір кращої альтернативи.

На першому етапі збирається вся доступна на момент прийняття рішення інформація: фактичні дані, думки експертів, будуються математичні моделі, проводяться соціологічні опитування, визначаються погляди на проблему з боку активних груп, що впливають на її рішення.

Другий етап пов'язаний з визначенням того, що можна, а чого не можна робити в даній ситуації, тобто з визначенням варіантів рішень (альтернатив).

Третій етап включає в себе порівняння альтернатив і вибір найкращого варіанта (або варіантів) рішення.

Принцип Парето полягає в тому, що оптимальний результат слід шукати тільки серед елементів множини невідоміючих рішень [7].

Серед альтернатив можуть виявитися і такі, у яких оцінки за всіма критеріями гірші, ніж у інших, такі альтернативи не є конкурентоздатними, їх викреслюють з таблиці. Залишаються альтернативи, які хоча б по одному критерію не гірші, ніж інші або невідоміючі альтернативи. Множину Парето ще називають множиною непокреслених рішень.

Парето-оптимальність рішення означає, що воно не може бути поліпшено по жодному з критеріїв без погіршення по якомусь іншому критерію.

Під час пошуку однієї домінуючої альтернативи, необхідно ввести додаткові відомості про критерії, які змогли б зменшити множину Парето.

Вирішення багатокритеріальної задачі зводиться до таких етапів [4]:

Етап 1. Визначення множини непокреслених рішень за Парето.

Етап 2. Отримання додаткової інформації про критерії.

Етап 3. Використання додаткової інформації про критерії доти, поки множина Парето не міститиме тільки одну альтернативу або групу альтернатив.

Альтернативи, що належать множині Еджворта-Парето, неможливо порівняти безпосередньо на основі критеріальних оцінок, але, якщо рішення повинно бути прийнято, то порівняння альтернатив, що належать множині Еджворта-Парето, можливо на основі додаткової інформації.

Неважко переконатися, що множина Еджворта-Парето включає в себе найбільш «контрастні» альтернативи, складні для порівняння.

Якщо стоїть задача вибору однієї кращої альтернативи, то вона обов'язково належить множині Еджворта-Парето. Тому в багатьох методах прийняття рішень дуже важливий етап виділення множини Еджворта-Парето зі всієї множини заданих альтернатив.

Одним із можливих способів вирішення цієї задачі є попарне порівняння альтернатив і виключення домінованих. Задача виділення множини Еджворта-Парето, зазвичай, розглядається як попередня, за нею йде найбільш істотний етап прийняття рішень.

Приклади аудиторних та домашніх задач

Задача 1.1 Нехай $K = \{K_1, K_2\}$ – множина критеріїв. $K_1 = \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}\}$ – шкала другого критерію.

Побудувати граф домінування альтернатив на множині $K_1 \times K_2$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу. Розглянути альтернативу (k_{12}, k_{22}) , які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею?

Розв'язання. Двовимірний граф домінування показано на рисунку 1.1.

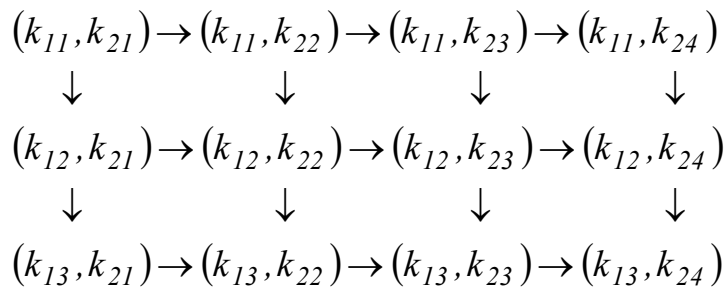


Рисунок 1.1 – Двовимірний граф домінування

Кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив: $3 \times 4 = 12$.

(k_{11}, k_{21}) – найкраща альтернатива, (k_{13}, k_{24}) – найгірша альтернатива.

Щоб відповісти на інші запитання, побудуємо таблицю 1.1. У цій таблиці всі альтернативи вказані в лексикографічному порядку від найкращої до найгіршої.

Відмітимо напівжирним курсивом рядок, що відповідає заданій альтернативі (k_{12}, k_{22}) .

Розглянемо в першому стовпці тільки ті значення критерію K_1 , що розміщені над напівжирним курсивним значенням k_{12} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в другому стовпці тільки ті значення критерію K_2 , що розміщені над напівжирним курсивним значенням k_{22} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Нарешті, розглянемо всі рядки, повністю відмічені курсивом, вони і представляють всі альтернативи, кращі, ніж (k_{12}, k_{22}) .

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{21}), (k_{11}, k_{22}), (k_{12}, k_{21})\}$ – множина альтернатив, кращих, ніж (k_{12}, k_{22}) .

Таблиця 1.1 – Всі альтернативи для двох критеріїв

Критерій K_1	Критерій K_2
k_{11}	k_{21}
k_{11}	k_{22}
k_{11}	k_{23}
k_{11}	k_{24}
k_{12}	k_{21}
k_{12}	k_{22}
k_{12}	k_{23}
k_{12}	k_{24}
k_{13}	k_{21}
k_{13}	k_{22}
k_{13}	k_{23}
k_{13}	k_{24}

Розглянемо в першому стовпці тільки ті значення критерію K_1 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{12} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в другому стовпці тільки ті значення критерію K_2 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{22} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Нарешті, розглянемо всі рядки, повністю відмічені курсивом, вони і представляють всі альтернативи, гірші, ніж (k_{12}, k_{22}) .

Таким чином, $\{(k_{12}, k_{23}), (k_{12}, k_{24}), (k_{13}, k_{22}), (k_{13}, k_{23}), (k_{13}, k_{24})\}$ – множина альтернатив, гірших, ніж (k_{12}, k_{22}) .

Решта рядків, в яких одне поле не відзначено курсивом, представляють всі альтернативи, не порівняні з (k_{12}, k_{22}) .

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{23}), (k_{11}, k_{24}), (k_{13}, k_{21})\}$ – множина альтернатив, не порівняних з (k_{12}, k_{22}) .

Задача 1.2 Нехай $K = \{K_1, K_2, K_3\}$ – множина критеріїв.

$K_1 = \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}, k_{23}\}$ – шкала другого критерію, $K_3 = \{k_{31}, k_{32}\}$ – шкала третього критерію.

Побудувати граф домінування альтернатив на множині $K_1 \times K_2 \times K_3$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу.

Розглянути альтернативу (k_{12}, k_{22}, k_{31}) , які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею?

Розв'язання. Тривимірний граф домінування показано на рисунку 1.2.

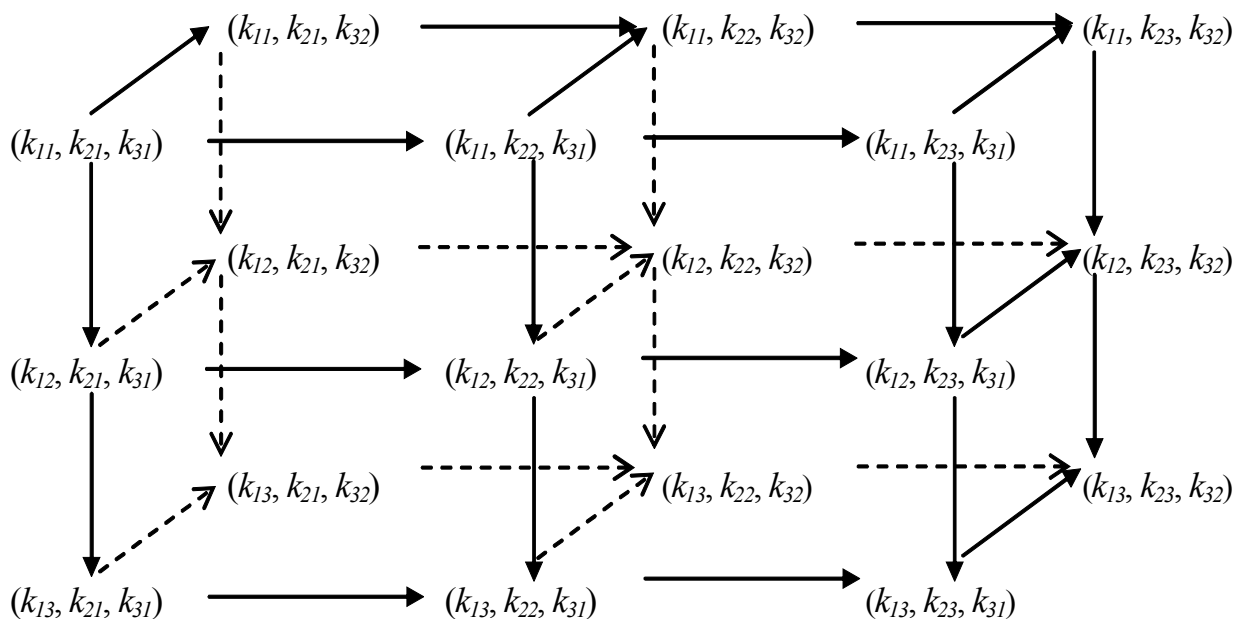


Рисунок 1.2 – Тривимірний граф домінування

«Розгортку» на площину тривимірного графа домінування, поданого на рисунку 1.2, показано на рисунку 1.3.

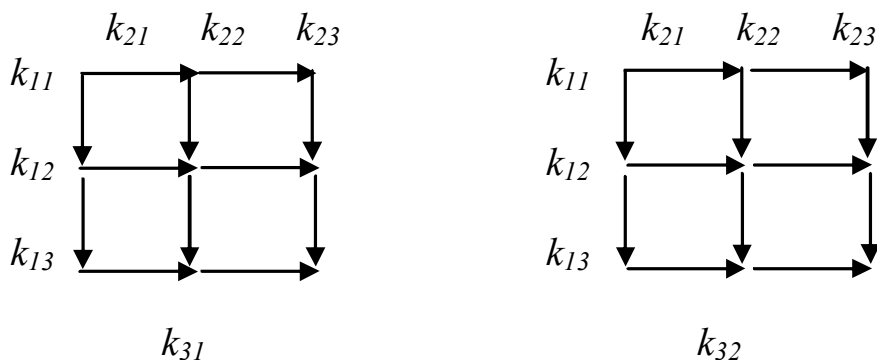


Рисунок 1.3 – «Розгортка» тривимірного графа домінування

Кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив: $3 \times 3 \times 2 = 18$.

(k_{11}, k_{21}, k_{31}) – найкраща альтернатива, (k_{13}, k_{23}, k_{32}) – найгірша альтернатива.

Щоб відповісти на інші запитання, побудуємо таблицю 1.2. У цій таблиці всі альтернативи вказані в лексикографічному порядку від найкращої до найгіршої.

Таблиця 1.2 – Всі альтернативи для трьох критеріїв

Критерій K_1	Критерій K_2	Критерій K_3
k_{11}	k_{21}	k_{31}
k_{11}	k_{21}	k_{32}
k_{11}	k_{22}	k_{31}
k_{11}	k_{22}	k_{32}
k_{11}	k_{23}	k_{31}
k_{11}	k_{23}	k_{32}
k_{12}	k_{21}	k_{31}
k_{12}	k_{21}	k_{32}
k_{12}	k_{22}	k_{31}
k_{12}	k_{22}	k_{32}
k_{12}	k_{23}	k_{31}
k_{12}	k_{23}	k_{32}
k_{13}	k_{21}	k_{31}
k_{13}	k_{21}	k_{32}
k_{13}	k_{22}	k_{31}
k_{13}	k_{22}	k_{32}
k_{13}	k_{23}	k_{31}
k_{13}	k_{23}	k_{32}

Відмітимо напівжирним курсивом рядок, що представляє розглянуту альтернативу (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Розглянемо в першому стовпці тільки ті значення критерію K_1 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{12} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в другому стовпці тільки ті значення критерію K_2 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{22} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в третьому стовпці тільки ті значення критерію K_3 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{31} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Тепер розглянемо всі рядки, повністю відмічені курсивом, вони і представляють всі альтернативи, кращі, ніж (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{21}, k_{31}), (k_{11}, k_{22}, k_{31}), (k_{12}, k_{21}, k_{31})\}$ – множина альтернатив, кращих, ніж (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Розглянемо в першому стовпці тільки ті значення критерію K_1 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{12} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в другому стовпці тільки ті значення критерію K_2 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{22} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в третьому стовпці тільки ті значення критерію K_3 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{31} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Тепер розглянемо всі рядки, повністю відмічені курсивом, вони і представляють всі альтернативи, гірші, ніж (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Таким чином, $\{(k_{12}, k_{22}, k_{32}), (k_{12}, k_{23}, k_{31}), (k_{12}, k_{23}, k_{32}), (k_{13}, k_{22}, k_{31}), (k_{13}, k_{22}, k_{32}), (k_{13}, k_{23}, k_{31}), (k_{13}, k_{23}, k_{32})\}$ – множина альтернатив, гірших, ніж (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Решта рядків, в яких хоча б одне поле не відзначено курсивом, представляють всі альтернативи, не порівняні з (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{21}, k_{32}), (k_{11}, k_{22}, k_{32}), (k_{11}, k_{23}, k_{31}), (k_{11}, k_{23}, k_{32}), (k_{12}, k_{21}, k_{32}), (k_{13}, k_{21}, k_{31}), (k_{13}, k_{21}, k_{32})\}$ – множина альтернатив, не порівняних з (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Задача 1.3 Нехай $K = \{K_1, K_2\}$ – множина критеріїв, $K_1 = \{k_{11}, \dots, k_{1m}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, \dots, k_{2n}\}$ – шкала другого критерію.

Побудувати граф домінування на множині $K_1 \times K_2$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу.

Розглянути альтернативу (k_{1x}, k_{2y}) , які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею:

– $m = 6, n = 8, x = 3, y = 4$;

– $m = 7, n = 7, x = 3, y = 3$;

– $m = 5, n = 10, x = 2, y = 4$.

Задача 1.4 Нехай $K = \{K_1, K_2, K_3\}$ – множина критеріїв.

$K_1 = \{k_{11}, \dots, k_{1w}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, \dots, k_{2r}\}$ – шкала другого критерію, $K_3 = \{k_{31}, \dots, k_{3l}\}$ – шкала третього критерію.

Побудувати граф домінування на множині $K_1 \times K_2 \times K_3$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу.

Розглянути альтернативу (k_{1x}, k_{2y}, k_{3z}) , які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею:

- $w = 3, r = 3, l = 7, x = 2, y = 2, z = 3$;
- $w = 4, r = 4, l = 4, x = 2, y = 2, z = 2$;
- $w = 2, r = 4, l = 8, x = 2, y = 2, z = 4$.

Теоретичні відомості щодо інформаційної підготовки до прийняття рішень при великій кількості критеріїв

Вільфредо Парето (роки життя з 1848 року по 1923 рік) – італійський економіст-соціолог, який першим звернув увагу на те, що починати впорядкування багатокритеріальних альтернатив потрібно, починаючи з видалення гірших.

Принцип Парето полягає в тому, що оптимальний результат слід шукати тільки серед елементів множини невідоміючих рішень [8].

Серед альтернатив можуть виявитися і такі, у яких оцінки за всіма критеріями гірші, ніж у інших, такі альтернативи не є конкурентоздатними, їх викреслюють з таблиці. Залишаються альтернативи, які хоча б по одному критерію не гірші, ніж інші або невідоміючі альтернативи. Множину Парето ще називають множиною непокреслених рішень.

Френсіс Еджворт – англійський вчений, спеціалізувався в питаннях математичної економіки. Поняття «Парето-оптимальне рішення» у випадку двох критеріїв, ввів до того, як в загальному вигляді його було сформульовано Вільфредо Парето.

Парето-оптимальність рішення означає, що воно не може бути поліпшено по жодному з критеріїв без погіршення по якомусь іншому критерію.

Під час пошуку однієї домінуючої альтернативи, необхідно ввести додаткові відомості про критерії, які змогли б зменшити множину Парето.

Вирішення багатокритеріальної задачі зводиться до таких етапів [1]:

Етап 1. Визначення множини непокреслених рішень за Парето.

Етап 2. Отримання додаткової інформації про критерії.

Етап 3. Використання додаткової інформації про критерії доти, поки множина Парето не міститиме тільки одну альтернативу або групу альтернатив.

Припустимо, що задана група альтернатив. Порівняємо всі альтернативи попарно і виключимо ті з них, які домінуються хоча б однією з альтернатив. Решта (недомінуючі) альтернативи належать *множині Еджворта-Парето*.

Альтернативи, що належать множині Еджворта-Парето, неможливо порівняти безпосередньо на основі критеріальних оцінок, але, якщо рішення повинно бути прийнято, то порівняння альтернатив, що належать множині Еджворта-Парето, можливо на основі додаткової інформації. Таке порівняння є основним для згаданого вище третього етапу процесу прийняття рішень.

Неважко переконатися, що множина Еджворта-Парето включає в себе найбільш «контрастні» альтернативи, складні для порівняння. Якщо стоїть задача вибору однієї кращої альтернативи, то вона обов'язково належить множині Еджворта-Парето. Тому в багатьох методах прийняття рішень дуже важливий етап виділення множини Еджворта-Парето зі всієї множини заданих альтернатив.

Одним із можливих способів вирішення цієї задачі є попарне порівняння альтернатив і виключення домінованих. Задача виділення множини Еджворта-Парето, зазвичай, розглядається як попередня, за нею йде найбільш істотний етап прийняття рішень.

З трьох наведених вище етапів процесу прийняття рішень найбільша увага, традиційно, приділяється третього етапу. За визнанням важливості пошуку інформації та виділення альтернатив слідує розуміння того, що ці етапи надзвичайно неформалізовані. Способи проходження етапів залежать не тільки від змісту задачі прийняття рішень, але і від досвіду, звичок, особистого стилю ОПР і його оточення. Науковий аналіз проблем прийняття рішень починається з моменту, коли хоча б частина альтернатив і/або критеріїв відома.

У сучасній науці про прийняття рішень центральне місце займають багатокритеріальні задачі вибору. Вважається, що облік багатьох критеріїв наближає постановку задачі до реального життя.

Традиційно прийнято розрізняти три *основні задачі прийняття рішень* [7]:

– впорядкування альтернатив. Для ряду задач висувається обґрунтована вимога визначити порядок на множині альтернатив.

Наприклад, члени сім'ї впорядковують за ступенем необхідності майбутні покупки, керівники фірм впорядковують за прибутковістю об'єкти капіталовкладень. У загальному випадку вимога упорядкувати альтернативи означає визначити відносну цінність кожної з альтернатив;

– розподіл альтернатив за класами рішень. Такі задачі часто зустрічаються у повсякденному житті.

Наприклад, під час покупки квартири або будинку, під час обміну квартири люди, зазвичай, ділять альтернативи на дві групи: що заслуговують і не заслуговують більш докладного вивчення, бо вимагають витрат сил і засобів.

Наприклад, групи товарів розрізняються за якістю, а абітурієнт ділить на групи вузи, в які він прагне вступити, люди часто виділяють для себе групи книг (за привабливістю для читання), туристські маршрути;

– виділення кращої альтернативи. Ця задача вважається однією із основних у прийнятті рішень, вона часто зустрічається на практиці.

Вибір одного предмета під час покупки, вибір місця роботи, вибір проекту складного технічного завдання – ці приклади добре знайомі.

Крім того, такі задачі поширені серед політичних рішень, де альтернатив порівняно небагато, але вони досить складні для вивчення і порівняння.

Наприклад, необхідний кращий варіант організації обміну грошей, кращий варіант проведення земельної реформи. Особливістю багатьох задач прийняття політичних рішень є конструювання нових альтернатив у процесі вирішення проблем.

Приклади аудиторних та домашніх задач

Задача 1.5 Нехай $K = \{K_1, K_2, K_3, K_4\}$ – множина критеріїв. $K_1 = \{k_{11}, k_{12}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}\}$ – шкала другого критерію, $K_3 = \{k_{31}, k_{32}\}$ – шкала третього критерію, $K_4 = \{k_{41}, k_{42}\}$ – шкала четвертого критерію.

Побудувати граф домінування альтернатив на множині $K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу.

Розглянути альтернативу $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$, які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею?

Розв'язання. Чотиривимірний граф домінування показано на рисунку 1.4.

«Розгортку» на площину чотиривимірного графа домінування, поданого на рисунку 1.4, показано на рисунку 1.5.

Кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив: $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$.

$(k_{11}, k_{21}, k_{31}, k_{41})$ – найкраща альтернатива, $(k_{12}, k_{22}, k_{32}, k_{42})$ – найгірша альтернатива.

Щоб відповісти на інші запитання, побудуємо таблицю 1.3. У цій таблиці всі альтернативи вказані в лексикографічному порядку від найкращої до найгіршої.

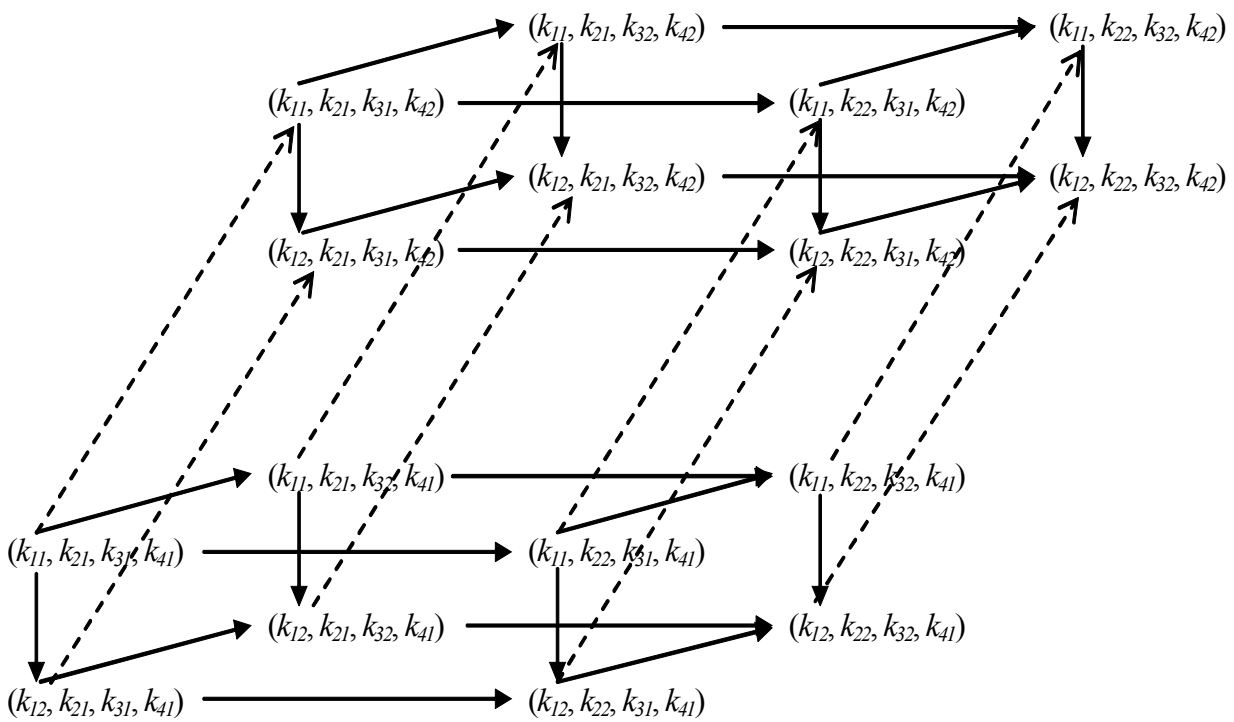


Рисунок 1.4 – Чотиривимірний граф домінування

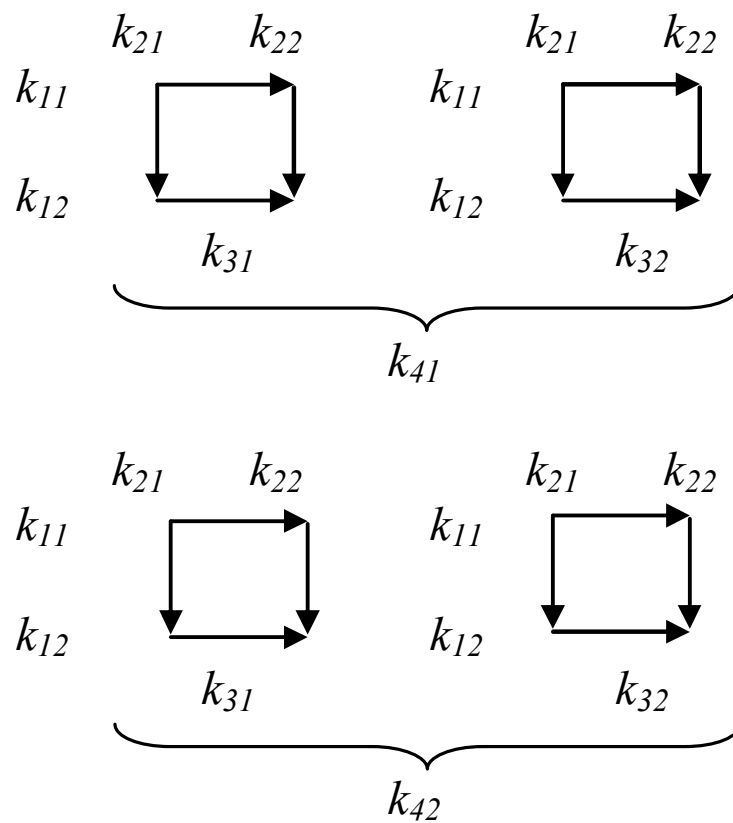


Рисунок 1.5 – «Розгортка» чотиривимірного графа домінування

Таблиця 1.3 – Всі альтернативи для чотирьох критеріїв

Критерий K_1	Критерий K_2	Критерий K_3	Критерий K_4
k_{11}	k_{21}	k_{31}	k_{41}
k_{11}	k_{21}	k_{31}	k_{42}
k_{11}	k_{21}	k_{32}	k_{41}
k_{11}	k_{21}	k_{32}	k_{42}
k_{11}	k_{22}	k_{31}	k_{41}
k_{11}	k_{22}	k_{31}	k_{42}
k_{11}	k_{22}	k_{32}	k_{41}
k_{11}	k_{22}	k_{32}	k_{42}
k_{12}	k_{21}	k_{31}	k_{41}
k_{12}	k_{21}	k_{31}	k_{42}
k_{12}	k_{21}	k_{32}	k_{41}
k_{12}	k_{21}	k_{32}	k_{42}
k_{12}	k_{22}	k_{31}	k_{41}
k_{12}	k_{22}	k_{31}	k_{42}
k_{12}	k_{22}	k_{32}	k_{41}
k_{12}	k_{22}	k_{32}	k_{42}

Відмітимо напівжирним курсивом рядок, що представляє розглянуту альтернативу $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

Розглянемо в першому стовпці тільки ті значення критерію K_1 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням **k_{11}** . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в другому стовпці тільки ті значення критерію K_2 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням **k_{22}** . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в третьому стовпці тільки ті значення критерію K_3 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням **k_{31}** . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в четвертому стовпці тільки ті значення критерію K_4 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням **k_{42}** . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Тепер розглянемо всі рядки, повністю відмічені курсивом, вони і представляють всі альтернативи, кращі, ніж $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{21}, k_{31}, k_{41}), (k_{11}, k_{21}, k_{31}, k_{42}), (k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{41})\}$ – множина альтернатив, кращих, ніж $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

Розглянемо в першому стовпці тільки ті значення критерію K_1 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{11} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в другому стовпці тільки ті значення критерію K_2 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{22} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в третьому стовпці тільки ті значення критерію K_3 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{31} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в четвертому стовпці тільки ті значення критерію K_4 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{42} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Тепер розглянемо всі рядки, повністю відмічені курсивом, вони і представляють всі альтернативи, гірші, ніж $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{22}, k_{32}, k_{42}), (k_{12}, k_{22}, k_{31}, k_{42}), (k_{12}, k_{22}, k_{32}, k_{42})\}$ – множина альтернатив, гірших, ніж $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

Решта рядків, в яких хоча б одне поле не відзначено курсивом, представляють всі альтернативи, не порівняні з $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{21}, k_{32}, k_{41}), (k_{11}, k_{21}, k_{32}, k_{42}), (k_{11}, k_{22}, k_{32}, k_{41}), (k_{12}, k_{21}, k_{31}, k_{41}), (k_{12}, k_{21}, k_{31}, k_{42}), (k_{12}, k_{21}, k_{32}, k_{41}), (k_{12}, k_{21}, k_{32}, k_{42}), (k_{12}, k_{22}, k_{31}, k_{41}), (k_{12}, k_{22}, k_{32}, k_{41})\}$ – множина альтернатив, не порівняних з $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

Задача 1.6 Нехай $K = \{K_1, K_2, K_3, K_4\}$ – множина критеріїв.

$K_1 = \{k_{11}, \dots, k_{1p}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, \dots, k_{2q}\}$ – шкала другого критерію, $K_3 = \{k_{31}, \dots, k_{3r}\}$ – шкала третього критерію, $K_4 = \{k_{41}, \dots, k_{4s}\}$ – шкала четвертого критерію.

Побудувати граф домінування на множині $K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу.

Розглянути альтернативу $(k_{1w}, k_{2x}, k_{3y}, k_{4z})$, які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею:

- $p = 2, q = 2, r = 3, s = 4, w = 1, x = 1, y = 2, z = 3$;
- $p = 2, q = 3, r = 2, s = 4, w = 1, x = 1, y = 2, z = 3$;
- $p = 4, q = 3, r = 2, s = 2, w = 1, x = 1, y = 2, z = 2$.

Задача 1.7 Нехай $K = \{K_1, K_2, K_3, K_4, K_5\}$ – множина критеріїв.

$K_1 = \{k_{11}, \dots, k_{1p}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, \dots, k_{2q}\}$ – шкала другого критерію, $K_3 = \{k_{31}, \dots, k_{3r}\}$ – шкала третього критерію, $K_4 = \{k_{41}, \dots, k_{4s}\}$ – шкала четвертого критерію, $K_5 = \{k_{51}, \dots, k_{5t}\}$ – шкала п'ятого критерію.

Побудувати граф домінування на множині $K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу.

Розглянути альтернативу $(k_{1v}, k_{2w}, k_{3x}, k_{4y}, k_{5z})$, які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею:

- $p = 1, q = 2, r = 3, s = 2, t = 3, v = 1, w = 2, x = 1, y = 2, z = 1$;
- $p = 2, q = 1, r = 3, s = 3, t = 2, v = 1, w = 1, x = 2, y = 2, z = 1$;
- $p = 2, q = 2, r = 1, s = 3, t = 3, v = 2, w = 1, x = 1, y = 1, z = 3$.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняттю «прийняття рішень».
2. Дайте визначення поняттю «особа, що приймає рішення (ОПР)».
3. Дайте визначення ролям людей в процесах прийняття рішень.
4. Дайте визначення поняттю «активні групи».
5. Дайте визначення поняттю «індивідуальний вибір».
6. Дайте визначення поняттю «альтернатива».
7. Дайте визначення поняттю «критерій».
8. Дайте визначення поняттю «шкала критерію».
9. Дайте визначення поняттю «процес прийняття рішень».
10. Дайте визначення поняттям «домінуючі та доміновані альтернативи».
11. Дайте визначення поняттю «множина Еджворта-Парето».
12. Дайте визначення типовим задачам прийняття рішень.

1.2 Оцінювання та вибір методів підтримки прийняття рішень

Мета роботи: детальний розгляд методів вирішення задач порядкової класифікації альтернатив при довільному числі класів та формування вміння і навичок їх практичного використання.

Теоретичні відомості щодо порядкової класифікації альтернатив

Рішення – свідомий вибір того, як себе вести або мислити визначеним чином у даних обставинах [9].

Управлінське рішення – це результат конкретної діяльності, яка може істотно вплинути на ступінь досягнення цілей і завдань [10].

Управлінське рішення – це вибір альтернативи, що здійснює керівник у межах його посадових повноважень і компетенції, цей вибір спрямований на досягнення цілей організації [11].

У ширшому розумінні управлінське рішення розглядають як основний вид управлінської праці, сукупність взаємопов'язаних, цілеспрямованих і логічно послідовних управлінських дій, які забезпечують реалізацію управлінських задач.

Успішні рішення є результатом процесу, що складається з таких етапів:

- ідентифікація проблеми;
- визначення мети і критеріїв для вибору рішення;
- розробка альтернатив;
- аналіз і порівняння альтернатив;
- вибір кращої альтернативи;
- застосування обраної альтернативи;
- контроль результатів для досягнення бажаних результатів.

Успіх чи невдача в прийнятті рішення часто залежать від того, наскільки добре здійснено кожний з етапів цього процесу.

Ідентифікація проблеми – центральна частина процесу, якщо не виконати її ретельно, то інші етапи процесу можуть одержати неправильний напрям. Головна небезпека полягає у тому, що зусилля з вирішення проблеми можуть бути спрямовані скоріше на усунення факторів прояву проблеми, а не на саму проблему. Отже, проблема залишиться і може проявитися пізніше.

Особа, що приймає рішення, повинна визначити критерії оцінки можливих вирішень проблеми. Здатність до успішного вирішення проблеми часто залежить від того, наскільки успішно розроблені можливі альтернативи.

У пошуку альтернатив завжди існує небезпека того, що одна або декілька потенційно кращих альтернатив не будуть взяті до уваги.

Слід зазначити, що обране оптимальне рішення може бути гіршим за дійсний оптимум, крім того, існує межа кількості можливих альтернатив.

Багато чого залежить від досвіду і творчих здібностей особи, що приймає рішення, та від характеру самої ситуації. Як правило, зусилля, витрачені на ретельне виявлення можливих альтернатив, приносять велику користь для загального вирішення проблеми. Для аналізу і порівняння альтернатив часто застосовують математичні або статистичні методи. Вибір найкращої альтернативи залежить від цілей, що стоять перед особою, яка приймає рішення, і від критеріїв, що використовувалися для оцінювання альтернатив.

Застосування рішення означає здійснення дій, визначених в обраній альтернативі. Ефективне прийняття рішення потребує перевірки результатів реалізації рішення, щоб переконатися в досягненні бажаного результату, якщо бажаних результатів не отримано, то необхідно повторити весь процес заново. Якщо аналіз ситуації виявить помилку у виконанні, помилку у розрахунках або неправильне вихідне припущення, то в цьому випадку потрібно швидко виправити становище. Процес прийняття рішення не завжди відбувається послідовно. Часто доводиться повертатися назад і починати все спочатку, особливо під час розробки та аналізу альтернатив. Будь-якому вчинку індивіда чи дії колективу передують прийняте рішення. Рішення є універсальною формою поведінки як окремої особи, так і соціальних груп, ця універсальність пояснюється свідомим та цілеспрямованим характером людської діяльності.

Вирішення проблем, великих і малих, складних і простих, важливих і другорядних, становить сутність процесу управління. Наслідки певних рішень можуть зачепити інтереси однієї людини, декількох персон, колективів, регіонів, суспільства у цілому. Важливою рисою управлінського рішення є те, що воно приймається при наявності назрілої проблеми. У зв'язку з тим, що проблеми виникають при управлінні будь-яким об'єктом, функція прийняття рішень полягає в постійному вирішенні задач у цьому процесі.

Дана задача спрямована на визначення найкращого способу ефективного досягнення поставлених цілей, під якими розуміють ідеальне подання бажаного стану об'єкта управління і результату діяльності. Сутність задачі ухвалення рішення полягає у розробці плану дій з вирішення проблем.

Проблеми найчастіше виникають, якщо функціонування систем об'єкта та управління ним на даний час не відповідає досягненню намічених цілей, функціонування системи не зможе забезпечити це в майбутньому.

Проблема завжди залежить від певних умов, які ще називають *ситуацією*. Сукупність проблеми та умов її виникнення створюють проблемну ситуацію. Отже, проблемою, що потребує ухвалення рішення, прийнято називати ситуацію, яка характеризується розбіжністю між необхідним і фактичним станом системи, що перешкоджає її розвитку та нормальному функціонуванню. Проблема може бути критичною, якщо дана ситуація загрожує самому існуванню об'єкта або системі управління ним.

Класифікація управлінських рішень і вимоги до їх прийняття

Під час класифікації рішень їхній вид визначається, виходячи з характеру задач для прийняття рішень.

Застосовують такі класифікації [11]:

- визначеність інформації;
- особа, що приймає рішення;
- ступінь охоплення об'єкта управління;
- термін дії і характер цілей;
- задачі прийняття рішень;
- кількість цілей;
- частота прийняття рішень.

Визначеність інформації характеризується вірогідністю даних, що використовуються під час ухвалення управлінського рішення, за цією ознакою виділяються групи рішень, прийнятих в умовах [6, 10]:

- визначеності;
- ймовірної визначеності;
- невизначеності;
- ризику конфлікту.

Рішення, прийняті в умовах визначеності, характеризуються наявністю повної та достовірної інформації щодо проблемної ситуації, мети, обмежень і наслідків реалізації рішень. У цій ситуації цілі та обмеження формально визначаються у вигляді цільових функцій і рівнянь. Функція переваги у випадку однієї мети збігається з цільовою функцією при множині цілей з функціональною залежністю цільових функцій. Рішення визначаються максимумом або мінімумом цільової функції, така ситуація дозволяє змоделювати формальну математичну модель задачі прийняття рішень.

Прийняття рішень за допомогою ймовірної визначеності формується на підставі теорії статистичних рішень. У цьому випадку неповність та невірогідність інформації доповнюється розглядом випадкових подій і процесів. Закономірності поведінки випадкових об'єктів описуються за допомогою ймовірних характеристик.

Невизначеність пов'язана з неповнотою та вірогідністю інформації, яка не дозволяє побудувати математичну модель задачі з визначення оптимального рішення, у цьому випадку основна роль у вирішенні задач з інформаційної невизначеності належить особам, що приймають рішення щодо об'єкта управління.

Управлінські рішення залежать від визначених вимог, що забезпечують виконання поставлених задач, до найважливіших вимог відносяться [11]:

- наукова обґрунтованість;
- повноважність;
- директивність;
- гнучкість;
- точність;
- своєчасність;
- ефективність;
- економічність.

Наукова обґрунтованість. Рішення повинне формулювати об'єктивні закономірності розвитку об'єкта і системи його управління.

Кожне рішення необхідно приймати на основі достовірної інформації щодо об'єкта і навколишнього середовища.

Повноважність. Рішення повинне прийматися відповідним органом чи особою, що має право приймати дане рішення.

Директивність означає регламентовану націленість рішення.

Точність. Рішення повинне бути точним, щоб було краще виконавцям засвоїти його характер.

Своєчасність. Несвоєчасно прийняте рішення не тільки недостатньо ефективне, але й шкідливе.

Ефективність полягає в тому, щоб забезпечити досягнення намічених у рішенні цілей при оптимальних витратах усіх видів ресурсів (природних, трудових, матеріальних, фінансових).

Технологія прийняття управлінського рішення

Одним із найскладніших етапів раціональної технології прийняття рішень є етап опрацювання альтернативних варіантів вирішення конкретної проблеми. Недостатня їх кількість спричиняє велику ймовірність прийняття неоптимального рішення. У той же час генерування альтернатив вимагає значних інтелектуальних зусиль і витрат часу. Суттєво полегшити цю роботу спроможні методи творчого пошуку альтернатив, які застосовуються в індивідуальному режимі, під час колективного творчого пошуку та придатні для використання в обох зазначених випадках.

Залежно від інформаційних умов, в яких приймаються рішення, методи їх обґрунтування поділяються на три великі групи [7]:

– методи, що застосовуються в умовах повної визначеності інформації про ситуацію прийняття рішення (аналітичні методи та методи математичного програмування);

– методи, що застосовуються в умовах ймовірнісної визначеності інформації про ситуацію прийняття рішення (методи математичного програмування та статистичні методи);

– методи, що застосовуються в умовах невизначеності інформації про ситуацію прийняття рішення, до яких відносяться теоретико-ігрові методи.

Щодо останньої групи методів невизначеність ситуації може бути наслідком дії об'єктивних обставин, які невідомі або носять випадковий характер (використання методів теорії статистичних рішень), або вона обумовлена свідомими діями розумного суперника (застосування теорії ігор).

Приклади аудиторних та домашніх задач

Задача 1.8 Нехай $K = \{K_1, K_2\}$ – множина критеріїв, $K_1 = \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}, k_{23}\}$ – шкала другого критерію.

Необхідно описати процедуру опитування ОПР, якщо вона закінчилася результатом, поданим у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Розбиття за двома критеріями на класи Y_1 та Y_2

	k_{21}	k_{22}	k_{23}
k_{11}	Y_1	Y_1	Y_2
k_{12}	Y_1	Y_1	Y_2
k_{13}	Y_1	Y_1	Y_2

Перший крок процедури опитування ОПР подано у таблиці 1.5.

Розглянемо процес створення таблиці 1.5.

У стовпцях K_1 та K_2 описано всі альтернативи в лексикографічному порядку від найкращої до найгіршої (вказується тільки номер значення на шкалі критерію). Наприклад, замість k_{13} у стовпці K_1 вказана «3», а замість k_{21} у стовпці K_2 вказується «1».

У стовпці G міститься множина номерів класів, допустимих для даної альтернативи. Очевидно, що найкраща альтернатива (1, 1) повинна належати першому класу Y_1 , а найгірша (3, 3) – другому класу Y_2 .

Таблиця 1.5 – Розбиття за двома критеріями на два класи. Крок 1

K_1	K_2	G	d_1	d_2	p_1	p_2	g_1	g_2	F_1	F_2	F
1	1	1	0	4	1	0	0	0	0	0	0
1	2	1, 2	1	3	0,75	0,25	0	4	0	1	1
1	3	1, 2	2	2	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	1
2	1	1, 2	1	3	0,75	0,25	0	4	0	1	1
2	2	1, 2	2	2	0,5	0,5	2	2	1	1	2
2	3	1, 2	3	1	0,25	0,75	4	0	1	0	1
3	1	1, 2	2	2	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	1
3	2	1, 2	3	1	0,25	0,75	4	0	1	0	1
3	3	2	4	0	0	1	0	0	0	0	0

Для всіх інших альтернатив до початку опитування немає інформації про переваги ОНР, тому для них допустимі всі класи – Y_1 та Y_2 .

Далі буде використовуватися таке поняття, як *центр класу* Y_m .

Y_m – це такий вектор, який є середнім арифметичним векторів, що належать даному класу:

$$C_m = (C_{m1}, C_{m2}). \quad (1.1)$$

До початку опитування в обох класах міститься по одному вектору, тому вектор (1, 1) є центром першого класу Y_1 , а (3, 3) – центром другого класу Y_2 .

У стовпці d_1 міститься відстань від даної альтернативи до центру першого класу Y_1 , вона дорівнює сумі модулів різниць відповідних векторів.

Наприклад, відстань від альтернативи (2, 3) до вектора (1, 1) – центру першого класу Y_1 обчислюється таким чином:

$$|2 - 1| + |3 - 1| = 1 + 2 = 3.$$

Аналогічним чином обчислюється відстань від даної альтернативи до центру другого класу Y_2 , результати заносяться у стовпець d_2 .

Наприклад, відстань від альтернативи (2, 1) до вектора (3, 3) – центру другого класу Y_2 обчислюється таким чином:

$$|2 - 3| + |1 - 3| = 1 + 2 = 3.$$

Очевидно, що серед усіх пар альтернатив найбільша відстань $D = 4$ (між найкращою альтернативою і найгіршою альтернативою).

У стовпці p_1 міститься міра близькості альтернативи до першого класу Y_1 . Міра близькості альтернативи, що належить до цього класу, повинна дорівнювати «1», а якщо не належить – «0». Для всіх інших альтернатив ця міра обчислюється за такою формулою:

$$p_1 = (D - d_1) / (D - d_1 + D - d_2), \quad (1.2)$$

$$p_1 = (4 - d_1) / (8 - d_1 - d_2).$$

Наприклад, міра близькості альтернативи (2, 3) до першого класу Y_1 обчислюється таким чином:

$$p_1 = (4 - 3) / (8 - 3 - 1) = 1/4 = 0,25.$$

Аналогічним чином обчислюється міра близькості альтернативи до другого класу Y_2 , результати заносяться у стовпець p_2 :

$$p_2 = (D - d_2) / (D - d_1 + D - d_2), \quad (1.3)$$

$$p_2 = (4 - d_2) / (8 - d_1 - d_2).$$

Наприклад, міра близькості альтернативи (2, 3) до другого класу Y_2 обчислюється таким чином:

$$p_2 = (4 - 1) / (8 - 3 - 1) = 3/4 = 0,75.$$

Очевидно, що:

$$0 \leq p_1 \leq 1, \quad (1.4)$$

$$0 \leq p_2 \leq 1, \quad (1.5)$$

$$p_1 + p_2 = 1. \quad (1.6)$$

Міра близькості альтернативи до певного класу тим більша, чим менша відстань між альтернативою і відповідним класом (тобто вважається, що в цьому випадку більша ймовірність того, що альтернатива буде віднесена до цього класу).

У стовпці g_1 міститься кількість додаткової інформації, яка стає відомою, якщо ОПР віднесе альтернативу до першого класу Y_1 . Наприклад, якщо ОПР віднесе альтернативу (2, 2) до першого класу Y_1 , то всі кращі від неї альтернативи, очевидно, що не потраплять в гірший другий клас Y_2 .

Так як у нас всього два класи, то з цього випливає, що кращі альтернативи, потраплять в перший клас Y_1 . Кращими, ніж альтернатива (2, 2), є альтернативи (1, 1), (1, 2) і (2, 1).

Те, що альтернатива (1, 1) належить першому класу Y_1 , було відомо і раніше, тому новою ця інформація буде тільки для альтернатив (1, 2) і (2, 1).

Таким чином, кількість додаткової інформації, яка стає відомою, якщо ОПР віднесе альтернативу (2, 2) до першого класу Y_1 , дорівнює «2».

У стовпці g_2 міститься кількість додаткової інформації, яка стає відомою, якщо ОПР віднесе альтернативу до другого класу Y_2 . Наприклад, якщо ОПР віднесе альтернативу (2, 2) до другого класу Y_2 , то всі гірші альтернативи, очевидно, що не потраплять в кращий перший клас Y_1 . Найгіршими, ніж альтернатива (2, 2), є альтернативи (2, 3), (3, 2) та (3, 3).

Те, що альтернатива (3, 3) належить другому класу Y_2 , було відомо і раніше, тому новою ця інформація буде тільки для альтернатив (2, 3) та (3, 2).

Таким чином, кількість додаткової інформації, яка стає відомою, якщо ОПР віднесе альтернативу (2, 2) до другого класу Y_2 , дорівнює «2».

У стовпці F_1 міститься інформативність альтернативи щодо першого класу Y_1 . Інформативність F_1 обчислюється за такою формулою:

$$F_1 = p_1 \cdot g_1. \quad (1.7)$$

Аналогічно обчислюється інформативність альтернативи щодо другого класу Y_2 , результати заносяться у стовпець F_2 :

$$F_2 = p_2 \cdot g_2. \quad (1.8)$$

У стовпці F міститься інформативність альтернативи. Інформативність альтернативи F обчислюється за такою формулою:

$$F = F_1 + F_2. \quad (1.9)$$

Таким чином, альтернатива (2, 2) – найінформативніша альтернатива, вона пред’являється ОПР для віднесення до одного із класів.

Згідно таблиці 1.4 ОПР віднесла альтернативу (2, 2) до першого класу Y_1 .

Тоді і кращі альтернативи (1, 2) та (2, 1) теж повинні бути віднесені до першого класу Y_1 .

Другий крок процедури опитування ОПР подано у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Розбиття за двома критеріями на два класи. Крок 2

K_1	K_2	G	d_1	d_2	p_1	p_2	g_1	g_2	F_1	F_2	F
1	1	1	1	4	1	0	0	0	0	0	0
1	2	1	1	3	1	0	0	0	0	0	0
1	3	1, 2	2	2	0,5	0,5	0	1	0	0,5	0,5
2	1	1	1	3	1	0	0	0	0	0	0
2	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0
2	3	1, 2	2	1	0,4	0,6	1	0	0,4	0	0,4
3	1	1, 2	2	2	0,5	0,5	0	1	0	0,5	0,5
3	2	1, 2	2	1	0,4	0,6	1	0	0,4	0	0,4
3	3	2	3	0	0	1	0	0	0	0	0

Так як перший клас Y_1 поповнився трьома новими альтернативами, необхідно перерахувати координати центру $C_1 = (C_{11}, C_{12})$ цього класу.

Відповідно зміниться відстань d_1 , міра p_1 та міра p_2 .

Необхідно також перерахувати і кількість додаткової інформації g_1 та g_2 , для вже прокласифікованих альтернатив ця кількість дорівнює «0». Для всіх інших альтернатив необхідно перерахувати кількість додаткової інформації g_1 .

Відповідно зміняться інформативності F_1 , F_2 та F .

Отже, (1, 3) і (3, 1) – найінформативніші альтернативи. Випадковим чином вибираємо одну з них. Нехай це буде альтернатива (1, 3), вона пред’являється ЛПР для віднесення до одного із класів.

Згідно таблиці 1.4 ОПР віднесла альтернативу (1, 3) до другого класу Y_2 , тоді і гірша альтернатива (2, 3) повинна бути віднесена до другого класу Y_2 .

Третій крок процедури опитування ОПР подано у таблиці 1.7.

Так як другий клас Y_2 поповнився двома новими альтернативами, необхідно перерахувати координати центру $C_2 = (C_{21}, C_{22})$ цього класу.

Відповідно зміниться відстань d_2 , міра p_1 та міра p_2 .

У процесі розрахунків виявилось, що альтернатива (3, 1) повинна бути віднесеною до першого класу Y_1 , так як значення $p_1 = 1$, згідно таблиці 1.4 ОПР також віднесла альтернативу (3, 1) до першого класу Y_1 .

Таблиця 1.7 – Розбиття за двома критеріями на два класи. Крок 3

K_1	K_2	G	d_1	d_2	p_1	p_2	g_1	g_2	F_1	F_2	F
1	1	1	1	3	1	0	0	0	0	0	0
1	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0
1	3	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0
2	1	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0
2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	3	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0
3	1	1, 2	2	3	1	0	0	0	0	0	0
3	2	1, 2	2	2	0,5	0,5	1	0	0,5	0	0,5
3	3	2	3	1	0	1	0	0	0	0	0

Необхідно також перерахувати і кількість додаткової інформації g_1 та g_2 , для вже прокласифікованих альтернатив ця кількість дорівнює «0». Для всіх інших альтернатив необхідно перерахувати кількість додаткової інформації g_2 .

Відповідно зміняться інформативності F_1 , F_2 та F .

Таким чином, (3, 2) – найінформативніша альтернатива, вона пред'являється ОПР для віднесення до одного із класів.

Згідно таблиці 1.4 ОПР віднесла альтернативу (3, 2) до першого класу Y_1 , тоді краща альтернатива (3, 1) повинна бути віднесена до першого класу Y_1 .

Всі альтернативи прокласифіковані.

Задача 1.9 Нехай $K = \{K_1, K_2\}$ – множина критеріїв, $K_1 = \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}, k_{23}\}$ – шкала другого критерію.

Необхідно описати процедуру опитування ОПР, якщо вона закінчилася результатом, поданим у таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Розбиття за двома критеріями на класи Y_1 та Y_2

	k_{21}	k_{22}	k_{23}
k_{11}	Y_1	Y_1	Y_1
k_{12}	Y_2	Y_2	Y_2
k_{13}	Y_2	Y_2	Y_2

Задача 1.10 Нехай $K = \{K_1, K_2\}$ – множина критеріїв, $K_1 = \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}, k_{23}\}$ – шкала другого критерію.

Необхідно описати процедуру опитування ОПР, якщо вона закінчилася результатом, поданим у таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Розбиття за двома критеріями на класи Y_1 та Y_2

	k_{21}	k_{22}	k_{23}
k_{11}	Y_1	Y_1	Y_1
k_{12}	Y_1	Y_2	Y_2
k_{13}	Y_1	Y_2	Y_2

Задача 1.11 Нехай $K = \{K_1, K_2\}$ – множина критеріїв, $K_1 = \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}, k_{23}\}$ – шкала другого критерію.

Необхідно описати процедуру опитування ОПР, якщо вона закінчилася результатом, поданим у таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 – Розбиття за двома критеріями на класи Y_1 та Y_2

	k_{21}	k_{22}	k_{23}
k_{11}	Y_1	Y_1	Y_2
k_{12}	Y_1	Y_1	Y_2
k_{13}	Y_2	Y_2	Y_2

Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняттю «центр непорожнього класу».
2. Дайте визначення поняттю «відстань від альтернативи до центру класу».
3. Дайте визначення поняттю «міра близькості альтернативи до класу».
4. Дайте визначення поняттю «інформативність альтернативи».

1.3 Основні типи задач прийняття рішень

Мета роботи: детальний розгляд методів вирішення задач впорядкування багатокритеріальних альтернатив та формування вміння і навичок їх практичного використання.

Теоретичні відомості щодо впорядкування багатокритеріальних альтернатив

Поняття «багатокритеріальність» в прийнятті рішень

У середині минулого століття для вирішення військових, виробничих і соціально-економічних задач широкого розвитку набули методи дослідження операцій.

Основними етапами вирішення будь-якої задачі в дослідженні операцій є:

- побудова моделі;
- вибір критерію оптимальності;
- знаходження оптимального рішення.

Для цього підходу характерні такі особливості [2]:

– передбачається, що модель, правильно відображає дійсність, при цьому критерії оптимальності призводять до єдиного рішення;

– на замовлення керівника аналітики досліджують організацію, зовнішнє середовище і будують адекватну модель, у цій роботі ОПР найчастіше не потрібна, аналітики самостійно знаходять вдале рішення;

– існує об'єктивний і єдиний критерій успіху в застосуванні методів дослідження операцій. Якщо проблема, яка потребує вирішення, і критерій визначено, то аналітичний метод однозначно показує наскільки нове рішення краще старого.

Методи дослідження операцій добре працюють, коли є єдиний критерій, коли критеріїв декілька, ситуація істотно змінюється. Наприклад, нехай якась авіакомпанія хоче мінімізувати витрати за умови максимального прибутку і максимуму зручностей для пасажирів. Для уточнення співвідношень між критеріями необхідна додаткова інформація про можливі співвідношення цих критеріїв, ця інформація може бути отримана тільки від ОПР в цій компанії.

Взагалі багатокритеріальні задачі, що виникли в ідеології методів дослідження операцій, мають одну загальну особливість: модель, що описує множину допустимих рішень, об'єктивна, але якість рішення оцінюється за багатьма критеріями. Для вибору найкращого варіанту вирішення необхідний компроміс між оцінками за різними критеріями. В умовах задачі відсутня інформація, що дозволяє знайти такий компроміс, тобто, неможливо аналітичним шляхом знайти співвідношення між критеріями.

Загальна постановка багатокритеріальної задачі

Розглянемо постановку вирішення класичної задачі при двох умовах, коли, як критерії, використовуються вартість і ефективність будь-якого проекту, наприклад, транспортної системи міста.

Моделі такого типу складаються з двох частин: моделі вартості та моделі ефективності [8].

Обидві моделі можна розглядати як об'єктивні: вони будуються на базі фактичних даних та надійного статистичного матеріалу. Однак, вихідні параметри цих моделей не можуть бути об'єднані аналітично, для цього необхідна думка керівника, який визначає значення вартості та ефективності.

Існує кілька евристичних прийомів, що дозволяють зробити обґрунтований висновок у такій ситуації.

У першому випадку ОПР задає гранично допустимі значення для всіх критеріїв, крім одного, по якому і проводиться оптимізація.

Наприклад, у випадку пари критеріїв «ефективність-вартість» ОПР задає граничне значення вартості, тому вартість з розряду критеріїв переходить в розряд обмежень. Рішення шукається для ефективності при обліку обмежень на вартість. Як правило, такий метод (перенесення частини критеріїв в обмеження) можливий лише при невеликій кількості критеріїв, що чітко і однозначно описують ситуацію.

У складних випадках (при великій кількості критеріїв, невідомих наслідках), як попередній крок, для вибору співвідношення критеріїв використовується метод побудови множини Еджворта-Парето (або просто множини Парето). Ця множина є областю максимально можливих значень параметрів, включаючи різні співвідношення між параметрами.

Наприклад, для завдання «ефективність-вартість» множина Еджворта-Парето може бути поданою у вигляді лінії на графіку, що є, по суті, різними варіантами співвідношень між критеріями оптимальності задачі.

Будь-яке з переліку оптимальних рішень лежить на цій лінії і завдання ОПР полягає в тому, щоб вибрати деяку точку на цій лінії.

При великій кількості критеріїв лінія перетворюється в багатовимірну область Парето, але і в цьому випадку зберігається її основна властивість – виділити область найбільш ефективних рішень. Таким чином, максимум, на що здатні класичні методи дослідження операцій – це знаходження області Парето, а вже у межах цієї області ОПР повинна вибрати рішення.

Методи пошуку рішень в багатокритеріальних задачах

Розроблено низку методів узгодження критеріїв у багатокритеріальних задачах, їх можна розділити на кілька великих груп [6]:

– метод вагових коефіцієнтів важливості критеріїв, який заснований на отриманні додаткової інформації від ОПР та присвоєнні чисельних значень важливості критеріїв на основі цієї інформації.

Задача зводиться до об'єднання багатьох критеріїв в один глобальний критерій, який визначається за формулою:

$$C_n = \sum_{i=1}^n w_i C_i, \quad (1.10)$$

де C_i – окремі критерії ($i = 1, \dots, N$);

w_i – ваги (коефіцієнти важливості критеріїв, їх сума дорівнює одиниці;

– метод подання рішення багатокритеріальної задачі у вигляді векторів.

В основі цього методу лежить припущення, що ОПР може безпосередньо порівнювати рішення, що подаються йому у вигляді векторів через критеріальний простір, та систематично шукати в цьому просторі найкращий вектор. Одним з найбільш відомих різновидів цього методу є комп'ютерне подання на екрані дисплея у вигляді різних попарних сполучень критеріїв та вибору найкращого поєднання критеріїв шляхом їх послідовного попарного порівняння;

– методи подальшого дослідження переваг ОПР та вибір одного (чи декількох) із існуючих методів, що найкращим чином вирішує поставлену задачу, наприклад, метод аналізу ієрархій.

Моделі прийняття рішень в умовах багатокритеріальності

Моделювання як метод дослідження застосовується під час розробки достатньо складних управлінських рішень і є побудовою моделей або системи моделей досліджуваного об'єкта для його вивчення. Дослідження моделей об'єктів дозволяє уточнити особливості та характеристики явища, що вивчаються. Використання моделей об'єктів дозволяє проводити активні експерименти, які неможливі з самим об'єктом.

Проте, часто під час прийняття рішень в умовах невизначеності буває недоцільно розраховувати конкретні показники (для цього просто може не бути даних), можливо оцінити який з варіантів дій є найкращим.

При розробці моделей прийняття рішення необхідно враховувати їх структуру [8]:

- мету (цілі);
- альтернативні стратегії;
- стан зовнішнього середовища;
- фактор часу.

Будь-яке рішення визначається поставленою метою, критерієм оптимальності або системою цілей, а вони, у свою чергу, повинні містити пріоритетні співвідношення, що показують відносну інтенсивність досягнення цільових функцій.

Альтернативні стратегії або очікувані варіанти дій дають можливість вибору оптимального рішення серед всіх можливих. Частковим випадком є вибір одиничного рішення при порівнянні дій лише з однією альтернативою.

Стан зовнішнього середовища – це сукупність зовнішніх факторів та їх майбутній розвиток, що характеризуються невизначеністю. Часто ця невизначеність пов'язана не зі свідомими діями, а з непроінформованістю про середовище, в якому потрібно приймати рішення.

Фактор часу є невід’ємним атрибутом моделі прийняття рішень, оскільки важливими є не лише терміни вибору оптимального варіанту, а й кількість кроків та періодів цього процесу.

Таким чином, враховуючи вищесказане, формалізована схема процесу прийняття рішення в умовах невизначеності має такий вигляд [4]:

$$\{F, B, Z, T, X, W, Q\}, \quad (1.11)$$

де F – моделювання та діагностика проблемної ситуації;

B – система обмежень (умови, в яких треба прийняти рішення);

Z – мета, або множина цілей, яких треба досягти;

T – фактор часу;

X – множина допустимих рішень;

W – система переваг оцінювача;

Q – критерій вибору прийнятого рішення.

У реальних ситуаціях доводиться приймати рішення на підставі множини критеріїв [10].

Наприклад, під час вибору місця для побудови нової школи розглядаються декілька критеріїв: рельєф, транспортна розв’язка, відстань від інших шкіл. Наявність декількох критеріїв робить задачу прийняття рішень багатокритеріальною. Задача багатокритеріального прийняття рішень визначається множиною можливих рішень A , векторним критерієм K і відношеннями переваг на множині A .

Для порівняння альтернатив на підставі критеріїв використовується критеріальна таблиця 1.11.

Таблиця 1.11 – Критеріальна таблиця

	k_1	k_2	...	k_n
a_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
a_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}
...
a_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mn}

У рядках знаходяться альтернативи, у стовпцях – критерії, на перетині рядків і стовпців – оцінка альтернатив по відповідним критеріям.

У теорії багатокритеріального аналізу метод структуризації альтернатив називають вирішальним правилом.

Пошук вирішення багатокритеріальної задачі не є проблемою, якщо перевага по одному критерію спричиняє за собою таку ж перевагу по іншому критерію, тобто критерії кооперуються. Наприклад, під час покупки комп'ютера покупець прагне придбати престижний та дорогий пристрій або, навпаки, скромний та недорогий пристрій.

Вирішення багатокритеріальної задачі також не є складним, якщо критерії нейтральні один відносно одного. У загальному випадку критерії конкурують один з одним. Наприклад, невисока вартість і престижність комп'ютера. Аналіз таких ситуацій здійснюють за допомогою визначення множини Парето [5].

Приклади аудиторних та домашніх задач

Задача 1.12 Припустимо, що необхідно вибрати місце для будівництва нової школи. Особі, що приймає рішення, було надано три альтернативних варіанти ділянок територій, необхідно вибрати одне із трьох місць, але ОПР не знає, якому дати перевагу, тому вона вирішила, що для неї головними характеристиками ділянок територій є:

- відстань до іншої найближчої школи;
- густота населення;
- вартість будівництва.

За цими критеріями території *A*, *B* та *B* були оцінені так, як показано у таблиці 1.12.

Таблиця 1.12 – Критеріальний опис альтернативних місць роботи

Території	Відстань до іншої найближчої школи	Густота населення	Вартість будівництва
<i>A</i>	Велика	Середня	Велика
<i>B</i>	Середня	Мала	Низька
<i>B</i>	Мала	Велика	Середня

Виходячи з цих даних необхідно порівняти вектори (123), (231) та (312), які відповідають територіям *A*, *B* та *B*. Простежимо на цьому прикладі процес побудови *єдиної порядкової шкали*.

Спочатку сформуємо множину альтернатив першої опорної ситуації: {211, 311, 121, 131, 112, 113}, вона складається з шести векторних оцінок, які необхідно порівняти між собою та скласти відповідно матрицю парних порівнянь (будемо вказувати в матриці тільки наддіагональні елементи).

Використовуватимуться такі позначення:

- 1 – елемент у рядку краще елемента у стовпці;
- 2 – елементи у рядку та стовпці рівнозначні;
- 3 – елемент у стовпці краще елемента у рядку;
- 0 – елементи у рядку та стовпці неможливо порівняти.

Вихідну матрицю з порівняннями на основі відношень домінування подано у таблиці 1.13.

Таблиця 1.13 – Вихідна матриця порівнянь

	211	311	121	131	112	113
211	2	1	0	0	0	0
311		2	0	0	0	0
121			2	1	0	0
131				2	0	0
112					2	1
113						2

Далі наведемо таку ж матрицю (табл. 1.14), але після того як ОПР провела перше порівняння та вказала, що векторна оцінка 211 переважніше векторної оцінки 121.

Таблиця 1.14 – Перше порівняння ОПР

	211	311	121	131	112	113
211	2	1	1	1	0	0
311		2	0	0	0	0
121			2	1	0	0
131				2	0	0
112					2	1
113						2

Виділена напівжирним шрифтом «1» відображає висновок зроблений на основі транзитивності: якщо відношення (211, 121) та відношення (121, 131) на думку ОПР відноситься до категорії «елемент у рядку краще елемента у стовпці», то відповідно до відношення домінування слідує, що на думку ОПР відношення (211, 131) також відноситься до категорії «елемент у рядку краще елемента у стовпці».

Потім ОПР пропонуються для порівняння векторні оцінки 211 та 112.

Повністю заповнена матриця порівнянь першої опорної ситуації, в якій виділені напівжирним шрифтом цифри вказують на елементи, що заповнені за транзитивним замиканням, подана у таблиці 1.15.

Таблиця 1.15 – Результати опитування ОПР

	211	311	121	131	112	113
211	2	1	1	1	1	1
311		2	3	3	3	1
121			2	1	3	1
131				2	3	1
112					2	1
113						2

Відповідно до отриманих результатів можна впорядкувати множину альтернатив першої опорної ситуації таким чином:

$$211 > 112 > 121 > 131 > 311 > 113.$$

Використовуючи дану шкалу, спробуємо впорядкувати вихідні три альтернативи за таким принципом: перше значення за будь-яким критерієм має ранг 1, друге значення за першим критерієм (211) має ранг 2, друге значення за третім критерієм (112) має ранг 3 і так далі.

Замінімо у кожній векторній оцінці, яка описує реальні альтернативи, число, що відображає оцінку за критерієм, на ранг цієї оцінки за єдиною порядковою шкалою. Результат подано в третьому стовпці таблиці 1.16.

Перепишемо знову отримані векторні оцінки в порядку зростання, результат подано у четвертому стовпці таблиці 1.16.

Таблиця 1.16 – Векторні оцінки альтернативних територій

Території	Векторна оцінка (вихідна)	Векторна оцінка за єдиною порядковою шкалою	Векторна оцінка за зростанням рангів
<i>A</i>	123	147	147
<i>B</i>	231	251	125
<i>B</i>	312	613	136

Векторні оцінки можуть бути впорядковані на основі відношення домінування: векторна оцінка, яка описує територію B , краще векторних оцінок, що описують території A та B , векторна оцінка, яка описує територію B , краще векторної оцінки, яка описує територію A .

Таким чином, вдалося упорядкувати території та визначити, що найкращою є територія B .

Задача 1.13 Припустимо, що група приватних осіб вирішила організувати фонд для вкладення коштів у науково-технічні проекти прикладного характеру. Політика організатора фонду у вигляді переліку основних, важливих для нього критеріїв оцінки проектів зі шкалою можливих значень по ним виглядає таким чином:

а) ступінь перевіреності задуму:

- 1) є одиничні вироби;
- 2) розроблено технологію;
- 3) є ідея;

б) окупність проекту:

- 1) менше півроку після початку виробництва;
- 2) рік після початку виробництва;
- 3) два роки і більше після початку виробництва;

в) труднощі організації виробництва при наявності грошових ресурсів:

- 1) малі;
- 2) середні;
- 3) великі;

г) наявність попиту на продукт (виріб):

- 1) великий попит;
- 2) достатній попит;
- 3) невизначений попит.

Описати процес побудови єдиної порядкової шкали.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняттю «єдина порядкова шкала».
2. Дайте визначення поняттю «перша опорна ситуація».
3. Дайте визначення поняттю «матриця парних порівнянь».
4. Дайте визначення поняттю «відношення домінування».
5. Дайте визначення поняттю «транзитивне замикання».
6. Дайте визначення поняттю «друга опорна ситуація».

1.4 Методи оцінки та порівняння багатокритеріальних альтернатив

Мета роботи: детальний розгляд методів вирішення задач вибору найкращої альтернативи та формування вміння і навичок їх практичного використання.

Теоретичні відомості щодо вибору найкращої альтернативи

Задача вибору або прийняття рішень є однією з центральних у будь-якій сфері людської діяльності [1]. Рішення приймаються для досягнення конкретної мети або бажаних результатів, які необхідно отримати в ході планованої операції. ОПР робить раціональний вибір або ухвалює якнайкраще рішення.

Якнайкраще рішення є тією з альтернатив, яка розглядається ОПР як найголовніший претендент на звання «рішення». Вербально «якнайкраще рішення» можна визначити як альтернативу, яку ОПР виділяє серед інших, якій він постійно віддає перевагу порівняно з будь-якою іншою альтернативою. Технології підтримки прийняття рішень допускають, що якнайкращих рішень може бути декілька (еквівалентних між собою).

Множинність якнайкращих альтернатив виникає з неможливості їх розрізнити при даному рівні деталізації переваг ОПР, як при множині Парето.

При пошуку рішень в багатокритеріальних задачах основною проблемою є те, що критерії, які описують мету, суперечливі. Максимізуючи рішення за одним критерієм, ми одночасно погіршуємо його за іншими критеріями, тому задача пошуку оптимального рішення зводиться, в першу чергу, до пошуку оптимальних співвідношень між критеріями.

Вихідні дані до задачі не містять інформацію про оптимальні співвідношення, тому необхідно отримати додаткову інформацію. До такої додаткової інформації відносяться переваги ОПР та оцінки експертів (фахівців). Як правило, дана інформація задана в якісному вигляді – у вигляді переваг, співвідношень краще-гірше або системою рангів, тому ключовим моментом у пошуку оптимального рішення є аналіз цієї інформації.

Задачу прийняття рішення в залежності від ступеня формулювання можливих альтернатив можна розділити на два великі класи [2]:

а) задані всі альтернативи і описують їх критерії.

Завдання формулюється так: є група з n альтернатив-варіантів вирішення проблеми і N критеріїв, призначених для оцінки альтернатив, кожна з альтернатив має оцінку (якісну або кількісну) по кожному з критеріїв.

Рішення зводиться до побудови вирішальних правил на основі переваг ОНР, що дозволяють [7]:

- 1) впорядкувати альтернативи за якістю;
- 2) віднести альтернативи до впорядкованих за якістю рішень;
- 3) виділити кращу альтернативу;

б) задана група з N критеріїв, що описують якість рішення, альтернативи або задані частково, або формулюються після побудови вирішальних правил.

Рішення, як і в попередньому випадку, зводиться до побудови вирішальних правил на підставі переваг ОНР, що дозволяють:

- 1) впорядкувати за якістю всі можливі альтернативи;
- 2) віднести всі можливі альтернативи до одного із декількох (зазначених ОНР) класів рішень.

До найбільш відомих підходів для вирішення цих класів задач відносяться:

- багатокритеріальна теорія корисності (Multi-Attribute Utility Theory);
- метод аналітичної ієрархії (Analytic Hierarchy Process);
- відношення переваги за якістю (ELECTRE).

Для виділення єдиної якнайкращої альтернативи є тільки один шлях – послідовне уточнення переваг ОНР за додатковими аспектами (принцип вкладених відношень).

Суть концепції раціональних рішень полягає в тому, що вирішальним аргументом при прийнятті рішення, тобто при свідомому виборі якнайкращого варіанта серед інших, служить логічно несуперечлива, повна і кількісно підтверджена система доказів.

Вводиться ряд припущень про поведінку людини, які називаються аксіомами раціональної поведінки [4, 7, 10].

Раціональний вибір означає припущення, що рішення є результатом упорядкованого процесу мислення. Слово «впорядкований» визначається фахівцями в строгій математичній формі.

Приклади аудиторних та домашніх задач

Задача 1.14 Припустимо, що сім'я вирішила зняти дачу на літній сезон, був складений такий список критеріїв:

- а) відстань від міста до станції:
 - 1) менше півгодини на електричці;
 - 2) від півгодини до години;
 - 3) більше години;

- б) відстань від станції до дачі:
- 1) пішки до 15 хвилин;
 - 2) автобусом від 10 до 20 хвилин;
- в) вартість оренди дачі на літо:
- 1) є нижчою за звичайну для даного міста;
 - 2) звичайна для даного міста;
 - 3) вища за звичайну;
- г) наявність магазину в селищі:
- 1) є;
 - 2) немає або розташований дуже далеко;
- д) наявність поруч лісу:
- 1) є;
 - 2) немає;
- е) наявність поруч з дачею місця для купання:
- 1) є;
 - 2) немає;
- є) тиша на дачі:
- 1) повна;
 - 2) час від часу шумно;
 - 3) шумно;
- ж) якість ґрунту:
- 1) хороший ґрунт;
 - 2) поганий ґрунт.

Потрібно порівняти два варіанти літньої дачі, що подані в таблиці 1.17.

Таблиця 1.17 – Варіанти літньої дачі

Варіант 1	Варіант 2
менше півгодини на електричці	від півгодини до часу
пішки до 15 хвилин	пішки до 15 хвилин
ціна звичайна	ціна нижче звичайної
магазину немає	магазину немає
лісу немає	ліс є
немає річки	є річка
час від часу шумно	повна тишина
гарний ґрунт	поганий ґрунт

Спочатку необхідно проранжувати недоліки кожної альтернативи, результати ранжування подані у таблиці 1.18.

Таблиця 1.18 – Ранжування недоліків

Варіант 1	Ранг	Ранг	Варіант 2
менше півгодини на електричці		1	від півгодини до часу
пішки до 15 хвилин			пішки до 15 хвилин
ціна звичайна	2		ціна нижче звичайної
магазину немає			магазину немає
лісу немає	4		ліс є
немає річки	3		є річка
час від часу шумно	1		повна тишина
гарний ґрунт		2	поганий ґрунт

З кращих оцінок варіантів за критеріями утворюється базовий варіант, найкраща альтернатива. Потім в базовий варіант вводяться гірші оцінки реальних варіантів (табл. 1.19) і отримані варіанти пред'являються ОПр.

Нехай ОПр вибирає з них варіант 1-1, як більш кращий.

Введемо у варіант 1-1 наступний недолік варіанта 1 (табл. 1.20).

Таблиця 1.19 – Варіанти для першого порівняння

Варіант 1-1	Варіант 2-1
<i>менше півгодини на електричці</i>	від півгодини до часу
пішки до 15 хвилин	пішки до 15 хвилин
ціна звичайна	ціна нижче звичайної
магазину немає	магазину немає
лісу немає	ліс є
немає річки	є річка
час від часу шумно	<i>повна тишина</i>
гарний ґрунт	поганий ґрунт

Таблиця 1.20 – Варіанти для другого порівняння

Варіант 1-2	Варіант 2-1
<i>менше півгодини на електричці</i>	від півгодини до часу
пішки до 15 хвилин	пішки до 15 хвилин
ціна звичайна	<i>ціна нижче звичайної</i>
магазину немає	магазину немає
лісу немає	ліс є
немає річки	є річка
час від часу шумно	<i>повна тишина</i>
гарний ґрунт	поганий ґрунт

Нехай ОПР вибирає з них варіант 2-1, як більш кращий.

За відповіддю ОПР можна зробити висновок, що два основних недоліки варіанту 1 більш істотні, ніж один основний недолік варіанту 2.

Потім в базовий варіант вводяться найгірші оцінки реальних варіантів, що залишилися (табл. 1.21) і отримані варіанти пред'являються ОПР.

Таблиця 1.21 – Варіанти для третього порівняння

Варіант 1-3	Варіант 2-2
менше півгодини на електричці	від півгодини до часу
пішки до 15 хвилин	пішки до 15 хвилин
ціна звичайна	ціна нижче звичайної
магазину немає	магазину немає
лісу немає	ліс є
немає річки	є річка
час від часу шумно	повна тишина
гарний ґрунт	поганий ґрунт

Нехай ОПР вибирає з них варіант 2-2, як більш кращий.

За відповіддю ОПР можна зробити висновок, що два останніх недоліки варіанту 1 більш істотні, ніж один недолік варіанту 2, що залишився.

На основі відповідей ОПР можна зробити висновок, що варіант 2 краще варіанту 1.

Задача 1.15 Припустимо, що необхідно побудувати трасу газопроводу, було складено такий список критеріїв:

а) вартість:

- 1) дешевший;
- 2) дорожчий;

б) екологія:

- 1) малий вплив;
- 2) великий вплив;

в) аварії:

- 1) менша ймовірність;
- 2) велика ймовірність;

г) наслідки аварії:

- 1) малі;
- 2) великі;

д) складність відновлення:

- 1) швидка ліквідація аварій;
- 2) тривале відновлення;

е) невідомий фактор:

- 1) достатня визначеність;
- 2) більш невизначена ситуація.

Потрібно порівняти два варіанти траси газопроводу (табл. 1.22).

Таблиця 1.22 – Варіанти газопроводу

Морський	Обхідний
дорожчий	дешевший
малий вплив	великий вплив
велика ймовірність	менша ймовірність
малі наслідки аварії	великі наслідки аварії
тривале відновлення	швидка ліквідація аварій
більш невизначена ситуація	достатня визначеність

Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняттю «відносні недоліки альтернатив».
2. Дайте визначення поняттю «базовий варіант».
3. Дайте визначення поняттю «компенсація недоліків».

1.5 Особливості застосування технологій підтримки прийняття рішень

Мета роботи: детальний розгляд аналітично-ієрархічного процесу прийняття та обґрунтування рішень, методів прийняття колективних рішень та формування вміння і навичок їх практичного використання.

Теоретичні відомості щодо аналітично-ієрархічного процесу прийняття та обґрунтування рішень

В основу ієрархічної моделі прийняття багатоцільових та багатокритеріальних рішень покладено принцип гнучкого (одночасного) врахування пріоритету локальних критеріїв якості стратегій, інформаційних ситуацій, у полі яких застосовуються ці критерії, та функціоналів оцінювання, які адекватно відображають цілі, що хоче досягнути ОПР.

Розглянемо задачу знаходження багатоцільового багатокритеріального рішення, коли відокремлено N цілей і кожній з них відповідає свій функціонал оцінювання.

Функціонали оцінювання можуть мати різні інгредієнти та різну розмірність. Рішення приймається комплексно, тобто, виходячи з позиції різних інформаційних ситуацій. У полі кожної інформаційної ситуації рішення має враховувати особливості різних критеріїв оцінювання якостей стратегій.

Логічним є подальше узагальнення наведеної моделі. У разі прийняття рішень, процеси опрацювання яких є розпаралеленими і здійснюються декількома командами, доцільно ввести ще один рівень ієрархії (верхній), який скоординує прийняті рішення.

Перспективним є використання запропонованого підходу для побудови ієрархічних моделей, що враховують динаміку розвитку системи.

Під час затвердження рішень та прогнозування ймовірних наслідків особа, яка приймає рішення, як правило, стикається зі складною організацією взаємозалежних елементів, яку потрібно розібрати. На сьогоднішній день існує багато технологій, що дозволяють максимально допомогти у вирішенні проблем, пов'язаних з процесами прийняття рішень.

Метод аналізу ієрархій (розроблений Томасом Сааті) дозволяє групі людей взаємодіяти по відношенню до певного завдання, видозмінювати свої думки та поєднувати сукупність групових думок відповідно до головного критерію: під час проведення попарних порівнянь об'єктів за певною характеристикою або під час проведення попарних порівнянь характеристик по відношенню до вищої мети [2].

Ключовою задачею у методі аналізу ієрархій Томаса Сааті є оцінка вищих рівнів, виходячи із результату взаємодії нижніх рівнів ієрархії, таким шляхом:

- структурування проблеми вибору у вигляді ієрархії або мережі;
- встановлення пріоритетів критеріїв і оцінка кожної з альтернатив за критеріями;
- обчислення коефіцієнтів важливості для елементів кожного рівня;
- розрахунок комбінованого вагового коефіцієнту і визначення найкращої альтернативи.

Метод аналізу ієрархій Томаса Сааті припускає такі етапи [11]:

Етап 1. Знаходження проблеми.

Етап 2. Побудова ієрархії: від проблеми до переліку альтернатив.

Етап 3. Оцінка важливості альтернатив за допомогою методу парних порівнянь.

Етап 4. Оцінка локальних пріоритетів порівнюваних елементів.

Етап 5. Визначення узгодженості локальних пріоритетів.

Етап 6. Ієрархічний синтез вирішення проблеми.

Цей метод призначений для вирішення задач першого типу, тобто, коли задані критерії оцінки і самі альтернативи, альтернатив, як правило, небагато, і всі вони чітко визначені.

Вирішення зводиться до пошуку найкращої альтернативи і включає такі етапи [6]:

- структуризація задачі (проблеми) у вигляді ієрархічної структури з декількома рівнями: цілі – критерії – альтернативи;
- ОПР виконує попарні порівняння елементів кожного рівня. Результати порівнянь переводяться в числа або ранги, від першого до дев'ятого;
- обчислюються коефіцієнти важливості для елементів кожного рівня, перевіряється узгодженість суджень ОПР;
- підраховується кількісний індикатор якості кожної з альтернатив і визначається найкраща альтернатива.

Розглянемо ці етапи детальніше.

Результатом першого етапу має бути:

- формулювання мети;
- перелік критеріїв досягнення мети C_1, C_2, \dots, C_n ;
- перелік можливих альтернатив A_1, A_2, \dots, A_m .

На другому етапі особа, що приймає рішення, повинна попарно порівняти критерії досягнення мети у відповідності з такою шкалою, запропонованою Томасом Сааті (табл. 1.23).

Таблиця 1.23 – Шкала відносної важливості

Рівень важливості	Кількісне значення
Рівна важливість	1
Помірна перевага	3
Значна або сильна перевага	5
Значна (велика) перевага	7
Дуже велика перевага	9

Використовуючи наведену шкалу відносної важливості критеріїв, ОПР порівнює між собою критерії, у результаті чого створюється матриця порівнянь критеріїв, що має вигляд, як показано у таблиці 1.24.

Таблиця 1.24 – Загальний вигляд матриці порівнянь для критеріїв

Критерії	C_1	C_2	C_n	Власний вектор, W_i	Вага критерію, w_i
C_1	$C_1 / C_1 = 1$	C_1 / C_2	C_1 / C_n	W_1	w_1
C_2	C_2 / C_1	$C_2 / C_2 = 1$	C_2 / C_n	W_2	w_2
C_n	C_n / C_1	C_n / C_2	$C_n / C_n = 1$	W_3	w_3

Компоненти власного вектора W_i знаходяться за формулою:

$$W_i = \sqrt[n]{(C_i/C_1) * (C_i/C_2) * \dots * (C_i/C_n)}. \quad (1.12)$$

Вага критерію знаходяться за формулою:

$$w_i = W_i / (W_1 + W_2 + \dots + W_n). \quad (1.13)$$

На наступному етапі аналогічним чином знаходиться відносна важливість альтернатив за окремими критеріями.

Загальний вигляд значень попарних порівнянь наведено у таблиці 1.25.

Таблиця 1.25 – Загальний вигляд відносної важливості альтернатив за окремими критеріями

За критерієм C_1					
Альтернатива	A_1	A_2	A_n	Власний вектор, V_i	Вага альтернативи, v_{ji}
A_1	$A_1 / A_1 = I$	A_1 / A_2	A_1 / A_n	V_{11}	v_{11}
A_2	A_2 / A_1	$A_2 / A_2 = I$	A_2 / A_n	V_{12}	v_{12}
A_n	A_n / A_1	A_n / A_2	$A_n / A_n = I$	V_{1n}	v_{1n}
За критерієм C_2					
A_1	$A_1 / A_1 = I$	A_1 / A_2	A_1 / A_n	V_{21}	v_{21}
A_2	A_2 / A_1	$A_2 / A_2 = I$	A_2 / A_n	V_{22}	v_{22}
A_n	A_n / A_1	A_n / A_2	$A_n / A_n = I$	V_{2n}	v_{2n}
За критерієм C_n					
A_1	$A_1 / A_1 = I$	A_1 / A_2	A_1 / A_n	V_{n1}	v_{n1}
A_2	A_2 / A_1	$A_2 / A_2 = I$	A_2 / A_n	V_{n2}	v_{n2}
A_n	A_n / A_1	A_n / A_2	$A_n / A_n = I$	V_{nn}	v_{nn}

На заключному етапі розраховується відносна вага кожної альтернативи:

$$C_j = \sum_{i=1}^N w_i v_{ji}. \quad (1.14)$$

Експерт може порівняти дві альтернативи і дати їм оцінки, наприклад, впорядкувати альтернативи за привабливістю. Відповіді експерта, що виміряні за порядковою шкалою, є ранжованими за результатами парних порівнянь.

Для того, щоб формалізувати оцінки експертів, у метод аналізу ієрархій вводиться спеціальна шкала оцінок – *шкала відносної важливості*, що була розроблена Томасом Сааті для проведення суб'єктивних парних порівнянь.

Для розрахунку показників важливості на першому етапі проводиться постановка і формалізація задачі (експертами описується множина показників та точок їх перевірки), наступною дією є знаходження набору критеріїв та технології їх оцінювання.

Ранжування – це розташування критеріїв у порядку зростання ступеня їх важливості [2].

У процесі прийняття рішень щодо складних проблем бере участь множина фахівців – експертів в певній предметній області.

Оцінки експертів дозволяють отримати узагальнену інформацію про досліджуваний об'єкт чи явище, що дозволяє сформулювати рішення, яке задається метою експертизи. Під час обробки індивідуальних оцінок експертів використовують різні кількісні і якісні методи.

Вибір методу залежить від складності вирішуваної проблеми, форми, в якій подані думки експертів, мети експертизи. Під час обробки результатів опитування використовуються методи математичної статистики [7].

Залежно від мети експертизи під час обробки оцінок можуть розв'язуватися такі проблеми [2]:

- формування узагальненої оцінки;
- визначення відносної ваги об'єктів;
- встановлення ступеня узгодженості думок експертів.

Приклади аудиторних та домашніх задач

Задача 1.16 Необхідно вибрати найкраще місце будівництва аеропорту. Припустимо, що створена з цією метою комісія відібрала з декількох можливих три варіанти A_1 , A_2 та A_3 , а також відібрала критерії для оцінки кожної з альтернатив:

- C_1 – вартість проекту;
- C_2 – час у дорозі до центру міста;
- C_3 – кількість людей, що піддаються шумовим впливам.

Запишемо матрицю порівнянь для критеріїв, як показано у таблиці 1.26.

Таблиця 1.26 – Матриця порівнянь для заданих критеріїв

Критерії	C_1	C_2	C_3	Власний вектор	Вага критерію
C_1	1	5	3	2,47	0,65
C_2	1/5	1	3	0,848	0,22
C_3	1/3	1/3	1	0,48	0,13

Чисельні значення критеріїв у наведеній таблиці 1.26 вибираються ОПР, а значення власних векторів і ваг критеріїв розраховуються за формулами (1.12) та (1.13) відповідно.

Далі записуємо таблицю значень альтернатив за кожним критерієм і розраховуємо важливості альтернатив за кожним із критеріїв (табл. 1.27).

Для кожної з трьох альтернатив показник якості розраховується за формулою (1.14):

$$C_1 = 0,65 * 0,69 + 0,22 * 0,07 + 0,13 * 0,68 = 0,552;$$

$$C_2 = 0,65 * 0,19 + 0,22 * 0,65 + 0,13 * 0,09 = 0,278;$$

$$C_3 = 0,65 * 0,12 + 0,22 * 0,28 + 0,13 * 0,23 = 0,170.$$

Таблиця 1.27 – Таблиця значень альтернатив за кожним критерієм та важливість альтернатив за кожним із критеріїв

За критерієм C_1					
Альтернатива	A_1	A_2	A_3	Власний вектор	Вага альтернативи
A_1	1	7	3	2,76	0,69
A_2	1/7	1	3	0,755	0,19
A_3	1/3	1/3	1	0,48	0,12
За критерієм C_2					
A_1	1	1/7	1/5	0,31	0,07
A_2	7	1	3	2,76	0,65
A_3	5	1/3	1	1,18	0,28
За критерієм C_3					
A_1	1	2	5	2,93	0,68
A_2	1/5	1	1/5	0,34	0,09
A_3	1/5	5	1	1	0,23

Як показують розрахунки, показник якості для першої альтернативи найбільш високий, тобто ця альтернатива є найкращою.

Теоретичні відомості щодо методів прийняття колективних рішень

На практиці часто зустрічаються ситуації, коли є кілька осіб, що приймають рішення, кожна з яких має свої переваги на одній множині A порівнюваних варіантів, на основі цих індивідуальних переваг необхідно виробити *групову (колективну) перевагу* (наприклад, журі розподіляє місця між учасниками змагання, громадяни країни обирають президента) [9].

Дані задачі прийняття рішень називаються задачами *групового вибору*, осіб, що приймають рішення, називають *виборцями*, а порівнювані варіанти – *кандидатами*. У таких задачах будемо довільним чином нумерувати виборців числами від 1 до m , а кандидатів позначати буквами a, b, \dots і т. д.

Процес побудови групової переваги називається *процедурою голосування*, а правила, за допомогою яких цей процес реалізується, називаються *правилами голосування* або *принципом узгодження*.

Переваги можуть задаватися різними способами, наприклад, у вигляді бінарних відношень переваги або за допомогою функцій вибору.

Залежно від того, яким чином задані індивідуальні переваги та в якій формі потрібно побудувати групову перевагу, виділяють різні типи задач групового вибору і відповідні їм типи процедур голосування.

Розглянемо три типи процедур голосування [6, 11]:

– заданий набір $\langle R_1, \dots, R_m \rangle$ відношень індивідуальної переваги (так званий профіль індивідуальних переваг), групову перевагу потрібно побудувати у вигляді бінарного відношення R на множині кандидатів. $R = F(R_1, \dots, R_m)$ – процедура голосування типу «упорядкування – упорядкування»;

– заданий профіль індивідуальних переваг $\langle R_1, \dots, R_m \rangle$, а групову перевагу потрібно побудувати у вигляді вибору $C(A)$. $C(A) = F(R_1, \dots, R_m)$ – процедура голосування типу «упорядкування – вибір»;

– для кожного i -го виборця задано $C_i(A)$ – його вибір з множини кандидатів A , необхідно побудувати груповий вибір $C(A)$.

$C(A) = F(C_1(A), \dots, C_m(A))$ – процедура голосування типу «вибір – вибір».

Процедура голосування типу «упорядкування – упорядкування»

Будемо вважати, що R_i – це відношення суворого порядку.

Можуть застосовуватися такі принципи узгодження [1, 5, 11]:

– нав'язаний принцип узгодження (яким би не був заданий профіль індивідуальних переваг, формується одне відношення групової переваги);

– диктаторський принцип узгодження ($R = R_j$, тобто групова перевага формується з переваги одного j -го виборця, незалежно від уподобань R_i ($i \neq j$) інших виборців);

– правило простої більшості: нехай $m(a,b)$ – число виборців, для яких a краще, ніж b , а $m(b,a)$ – кількість виборців, для яких b краще, ніж a ; відношення групової переваги задається так: $aRb \Leftrightarrow m(a,b) \geq m(b,a)$;

– правило тотально мажоритарної більшості: $aRb \Leftrightarrow m(a,b) \geq t$, де $t > m/2$.

Одним із найрозповсюдженіших принципів узгодження є правило відносної більшості: прийнятою всіма вважають альтернативу, яка отримала найбільшу кількість голосів. Дане правило приваблює своєю простотою та демократичністю, але має особливості, через які застосовувати його потрібно обережно, насамперед, воно лише узагальнює індивідуальні переваги, а його результат – це не критерій істини.

Подальша практика показує правильним чи помилковим було рішення прийняте більшістю голосів, адже саме голосування – це лише форма узгодження подальших дій. Слід зазначити, що навіть у разі найпростішого вибору однієї з двох альтернатив бувають ситуації, коли правило більшості не спрацьовує: наприклад, розподіл голосів порівну в разі парної кількості тих, хто голосував, така ситуація породжує ряд можливих варіантів вирішення [2]:

- голова має два голоси;
- відносна більшість (більше 51 %);
- переважна більшість (близько 3/4);
- абсолютна більшість (близько 100 %);
- принцип одностайності (консенсус, право вето).

Оскільки у реальному житті відмова від подальших дій після прийняття рішенням неприпустима та небажано вважати груповим вибором вибір окремої особи («диктатора»), розроблено різні способи прийняття групового рішення.

Розглянемо основні правила голосування (зазвичай, на практиці застосовують різні їх модифікації).

Правило відносної більшості

Правило відносної більшості: кожен виборець віддає свій голос за найкращого кандидата за його думкою, наприклад, обирається кандидат a , який отримав найбільшу кількість голосів $f(a)$.

Зауваження: за правилом відносної більшості може перемогти кандидат, який не є найкращим для більшості виборців.

Правило абсолютної більшості

Перемагає кандидат, який набрав більше половини голосів виборців. Якщо таких немає, то проводиться другий тур голосування, у другий тур виходять тільки два кандидати, що набрали найбільшу кількість голосів (при великому числі виборців рівність голосів за різних кандидатів – мало ймовірно).

У другому турі виграє той, хто набрав більше голосів виборців.

Правило Борда: кожен виборець відповідно до своїх уподобань формує лінійний порядок на множині всіх p кандидатів, на основі якого здійснюється ранжування таким чином: найменш бажаний кандидат отримує 0 очок, наступний за перевагою кандидат отримує 1 очко і так далі, найкращий кандидат отримує $p - 1$ очко, перемагає кандидат з найбільшою сумою очок по всім виборцям (переможець по правилу Борда) [2].

Правило голосування з підрахунком очок (узагальнення правила Борда): аналогічно правилу Борда кожен виборець робить ранжування, ранги кандидатам виставляються з фіксованою неспадаючою послідовністю чисел $s_0 \leq s_1 \leq \dots \leq s_{p-1}$: найгірший кандидат отримує s_0 очок, наступний за перевагою кандидат отримує s_1 очок і так далі, найкращий кандидат отримує s_{p-1} очко, перемагає кандидат з найбільшою сумою очок по всім виборцям.

Зауваження: правило відносної більшості є окремим випадком правила з підрахунком очок при $s_0 = s_1 = \dots = s_{p-2} < s_{p-1}$.

Правило Кондорсе: якщо в множині кандидатів, на якій побудовано групове відношення переваги за принципом простої більшості, існує найбільший елемент, то він є переможцем по Кондорсе [2].

Тобто за правилом Кондорсе перемагає альтернатива (обов'язково єдина), яка переважає будь-яку іншу за правилом відносної більшості. Недоліком цього правила є те, що можлива така конфігурація переваг, за якою не буде переможця (парадокс Кондорсе), така ситуація виникає тоді, коли парні порівняння за правилом відносної більшості утворюють цикл.

Теорема: існують профілі індивідуальних переваг, при яких переможець по Кондорсе не може бути обраний ні при якому способі підрахунку очок.

У деяких випадках парадокса Кондорсе можна уникнути, модифікувавши правило Кондорсе (правило Копленда та правило Сімпсона).

Правило Копленда: на множині кандидатів будується групова перевага R за принципом простої більшості, потім кожному кандидату a виставляється оцінка таким чином: $f(a) = (\text{число пар } \langle a, x \rangle \in R \text{ мінус число пар } \langle x, a \rangle \in R, x \neq a)$, перемагає кандидат з найбільшою оцінкою [2].

Порівняємо альтернативу a з будь-якою іншою альтернативою x . Додамо до балів альтернативи a одиницю, якщо для більшості a переважає x . Віднімемо одиницю, якщо для більшості x переважає a . Якщо голоси рівні, то нічого не робимо. Підсумовуючи кількість балів для всіх альтернатив, отримаємо оцінку Копленда. Перемагає альтернатива з найбільшою кількістю балів (переможець за правилом Копленда).

Правило Сімпсона: кожному кандидату a виставляється оцінка $f(a) = \min m(a, x)$ по всіх x , де $m(a, x)$ – число виборців, для яких a краще, ніж x , перемагає кандидат з найбільшою оцінкою (переможець за правилом Сімпсона) [11].

На практиці між правилом Кондорсе та правилом Борда існує певна суперечність, дану проблему можна дослідити детальніше, узагальнивши правило Борда (загальне правило підрахунку балів). Цікаве порівняння правила підрахунку балів і правила Кондорсе зробив Пітер Фішберн.

Теорема Фішберна: існують профілі, для яких альтернативу, найкращу за правилом Кондорсе, не можна обрати ні за яким методом підрахунку балів.

Парадокси голосувань

Особливість правила голосування – це можливість відмовитися від вибору через недосягнення потрібної більшості. Здавалося б, виключивши таку можливість, можна забезпечити ухвалення рішення в будь-яких випадках.

Наприклад, нехай три експерти більшістю голосів вирішують питання: яка з двох альтернатив краща, до того ж вони не можуть не зробити вибір. У цьому випадку виникає ще одна особливість правила голосування – нетранзитивність. Причиною зазначеного парадоксу нетранзитивності групового вибору є циклічність сукупності вихідних індивідуальних переваг.

Це лише окремий приклад *парадоксу Ерроу* (теореми про неможливість).

Функція колективної переваги

З усіх функцій F індивідуальних виборів R_1, \dots, R_n виділимо ті, що відповідають *вимогам* та виражають вибір, який можна вважати погодженим:

- $n \geq 2$, кількість альтернатив не менша 3. Функція F визначена для будь-яких $\{R_i\}$;

- якщо в результаті групового вибору перевагу було віддано альтернативі x , то це рішення не повинне змінюватися, якщо хто-небудь із тих, хто раніше відкидав x , змінив свою перевагу на її користь (умова монотонності);

- якщо зміни індивідуальних переваг не стосуються певних альтернатив, то в новому груповому впорядкуванні їх послідовність має бути незмінною (умова незалежності незв'язаних альтернатив);

– для будь-якої пари альтернатив x та y існує такий вибір індивідуальних переваг, для якого $F(R_1, \dots, R_n) = (x \succ y)$ (умова суверенності), можливо нав'язати альтернативу y незалежно від порядків переваг індивідуумів;

– не має бути такого індивідуума, для якого з його переваги $(x \succ y)$ (для будь-яких x та y) випливає, що $F(R_1, \dots, R_n) = (x \succ y)$ незалежно від переваг інших індивідуумів (умова того, що немає диктаторства).

Теорема Ерроу (парадокс Ерроу, теорема про неможливість)

Парадокс Ерроу полягає в тому, що перші чотири умови суперечать п'ятій, не існує правила F , яке задовольняє всім п'ятьом вимогам. Аналіз причин такого несподіваного наслідку з даних припущень показує, що основну роль відіграє можливість існування циклічних множин ранжувань, що характерно для бінарних відношень, які задовольняють умову три.

Однак, часто все ж таки допустимі задачі групового вибору.

По-перше, інколи може не бути циклічних ранжувань або вони не охоплюють найважливіші альтернативи, або вжито заходів для їх виявлення та усунення. По-друге, у багатьох ситуаціях «диктаторський» принцип узгодження цілком прийнятний. По-третє, перехід (коли це можливо) до використання єдиної числової, а не порядкових індивідуальних шкал переваг може взагалі анулювати проблему нетранзитивності. По-четверте, у реальних ситуаціях мажоритарні правила застосовують у комбінації з іншими, тому, утворивши коаліцію, групи суб'єктів можуть блокувати голосування.

Систематичне дослідження всіх можливих систем голосування провів у 1951 році Кеннет Ерроу зі Стенфордського університету.

Ерроу запропонував набір вимог (*аксіоми Ерроу*), яким повинна задовольняти раціональна система голосування.

На основі своїх аксіом він намагався у загальному вигляді довести існування системи голосування, що задовольняє одночасно трьома принципами:

- раціональна (без протиріч),
- демократична (одна людина – один голос),
- вирішальна (дозволяла здійснити вибір).

Перша аксіома Ерроу вимагає, щоб система голосування була досить загальною, це дозволяє враховувати всі можливі розподіли голосів виборців, необхідно, щоб система була дієвою при будь-яких перевагах виборців. Перша аксіома отримала назву *аксіоми універсальності*.

Відповідно до другої аксіоми *одноголосності* необхідно, щоб колективний вибір повторював у точності загальну думку всіх голосуючих.

Якщо, наприклад, кожен із голосуючих вважає, що кандидат A краще кандидата B , то і система голосування повинна приводити до цього результату.

Третя аксіома Ерроу отримала назву *незалежності від незв'язаних альтернатив*. Нехай виборець вважає, що з пари кандидатів A і B кращим є A , ця перевага не повинна залежати від ставлення виборця до інших кандидатів.

Часто третя аксіома Ерроу порушується суддями у фігурному катанні, даючи порівняльні оцінки двом сильним фігуристам в одиночному катанні, вони намагаються врахувати можливість гарного виступу третього сильного кандидата, залишаючи йому шанси стати переможцем.

Відмінний виступ у довільному катанні фігуриста C , що мав раніше не надто високий результат в обов'язковій програмі, може вплинути на оцінки фігуристів A і B . Якщо A мав відмінний результат в обов'язковій програмі, судді іноді ставлять його нижче фігуриста B при приблизно рівному виступі, щоб підвищити шанси фігуриста C .

Четверта аксіома Ерроу – аксіома *повноти системи голосування* повинна порівняти будь-яку пару кандидатів, визначивши кращого, є можливість оголосити двох кандидатів однаково привабливими.

П'ята аксіома Ерроу є умовою *транзитивності*, якщо відповідно до думки виборців кандидат B не кращий кандидата A , кандидат C не кращий кандидата A . Вважається, що система голосування, яка не допускає порушення транзитивності, поводить раціональним чином.

Визначивши п'ять аксіом – бажаних властивостей системи отримання колективного рішення, Ерроу довів, що системи, що задовольняють цим аксіомам, є правилом диктатора (нав'язують прийняти рішення за уподобанням лідера). Зрозуміло, що розробити ідеальну систему голосування дуже складно, жодна з них не буде задовольняти всім аксіомам Ерроу, тому результат досліджень Ерроу називають *теореми неможливості*.

Прийняття колективних рішень у малих групах

Мала група – це невелика (від двох до семи) сукупність людей, що має таку структуру управління, яка дозволяє визначати міру контролю за поведінкою одних членів групи з боку інших.

Традиційним способом вирішення проблем є організація нарад, на яких члени колективного органу виступають як експерти, оцінюючи різні варіанти рішень і переконуючи інших членів приєднатися до їхньої думки.

У багатьох випадках ці обговорення дозволяють прийти до єдиної думки, яка іноді відображає компроміс між членами колективного органу, що приймає рішення.

Безперечними перевагами такого способу прийняття колективних рішень є можливість для кожного члена групи висловити свою думку і обґрунтувати її, можливість для кожного члена групи вислухати думку інших членів.

Поряд із зазначеними перевагами застосування традиційного способу розв'язання задач колективного вибору в ряді випадків виявляються такі негативні явища, як надмірно сильний вплив на групу доводів одного або кількох членів (коаліції), спрямований на усунення позитивних особливостей бажаних ними варіантів рішень, велика та часто неефективна витрата часу членами групи, особливо при сильному розходженні думок у деяких із них, поспішне застосування правила більшості, що не дозволяє врахувати думки всіх членів групи.

Зі спробами подолати негативні риси традиційних способів прийняття колективних рішень малими групами пов'язані різні напрямки досліджень.

Неантагоністичні ігри: один із напрямів у теорії ігор, орієнтований на розробку математичних моделей, що описують процес вироблення компромісу, тобто пошук точок рівноваги. Роботи у даному напрямку мають в основному теоретичний характер.

Групові системи підтримки прийняття рішень: розробляються локальні мережі для членів групи, а також формальні алгоритми порівняння переваг на заданій множині об'єктів. Такі системи, зазвичай, призначені для ознайомлення кожного члена групи з думками інших. Задача узгодження думок або взагалі не ставиться, або зводиться до усереднення думок. З практичної точки зору даний підхід не відповідає задачам прийняття відповідальних рішень.

Організація роботи групи за допомогою посередника: цей напрямок досліджень з практичної точки зору є найбільш перспективним.

Прийняття рішень у малій групі відрізняється від прийняття індивідуальних рішень. У кожного члена групи, зазвичай, є певна точка зору на спосіб вирішення проблеми. Якщо ці погляди збігаються або в групі є диктатор, що нав'язує власну позицію, то про прийняття колективних рішень немає й мови, але частіше в групі шукається компроміс, прийнятний для всіх членів.

Мета діяльності малої групи – це перехід від індивідуальних переваг до групових.

Приклади аудиторних та домашніх задач

Задача 1.17 Для профілю голосування, заданого таблицею 1.28, визначити переможців за різними правилами голосування.

Таблиця 1.28 – Профіль голосування

5	3	5	4
a	a	b	c
d	d	c	d
c	b	d	b
b	c	a	a

За правилом відносної більшості перемагає кандидат a, за правилом абсолютної більшості – кандидат b, за правилом Борда – кандидат d, за правилом Кондорсе – кандидат c.

Задача 1.18 Для профілю голосування, заданого таблицею 1.29, визначити переможців за різними правилами голосування.

Таблиця 1.29 – Профіль голосування

3	6	4	4
c	a	b	b
a	b	a	c
b	c	c	a

Задача 1.19 Для профілю голосування, заданого таблицею 1.30, визначити переможців за різними правилами голосування.

Таблиця 1.30 – Профіль голосування

23	17	2	10	8
a	b	b	c	c
b	c	a	a	b
c	a	c	b	a

Задача 1.20 Для профілю голосування, заданого таблицею 1.31, визначити переможців за різними правилами голосування.

Таблиця 1.31 – Профіль голосування

23	19	16	2
a	b	c	c
c	c	b	a
b	a	a	b

Задача 1.21 Для профілю голосування, заданого таблицею 1.32, визначити переможців за різними правилами голосування.

Таблиця 1.32 – Профіль голосування

31	12	17	2
a	b	c	c
c	c	b	a
b	a	a	b

Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняттю «шкала відносної важливості».
2. Дайте визначення поняттю «матриця порівнянь для критеріїв».
3. Дайте визначення поняттю «власний вектор».
4. Дайте визначення поняттю «вага критерію».
5. Дайте визначення поняттю «відносна важливість альтернатив за окремими критеріями».
6. Дайте визначення поняттю «індекс узгодженості».
7. Дайте визначення поняттю «синтез коефіцієнтів важливості».
8. Дайте визначення поняттю «правило відносної більшості».
9. Дайте визначення поняттю «правило абсолютної більшості».
10. Дайте визначення поняттю «правило Борда».
11. Дайте визначення поняттю «правило Кондорсе».
12. Дайте визначення поняттю «правило з підрахунком очок».
13. Дайте визначення поняттю «аксіоми Ерроу».
14. Дайте визначення поняттю «теорема Ерроу».

1.6 Сучасні технології підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах

Мета роботи: детальний розгляд можливостей технологій підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах та формування вміння і навичок їх практичного використання.

Теоретичні відомості щодо можливостей технологій підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах

У методиках проектування систем не завжди використовують особливості просторової інформації про місця знаходження чи переміщення численних ресурсів, які реалізовані в геоінформаційних технологіях.

Слід зазначити, що практично будь-яка управлінська інформація містить просторову або географічну складову, що неможливо не врахувати під час виконання оперативної обробки інформації.

Розвиток інформаційних технологій дозволив створити геоінформаційні системи – складні програмні продукти, які реалізують геоінформаційні технології, призначені для комп’ютерного моделювання різноманітних процесів з метою вирішення широкого кола задач, відносно об’єктів управління з просторовою прив’язкою [12].

Геоінформаційні технології мають можливості інтеграції і сумісного аналізу різнорідних даних та є важливим інструментом для вирішення задач управління. Геоінформаційні системи та технології застосовуються під час автоматизації обробки інформації про об’єкти будь-якого походження: штучні чи природні, моніторинг, опис, аналіз, моделювання стану яких і прийняття управлінських рішень щодо поліпшення їх характеристик є неповним без просторового аналізу.

Прикладами таких об’єктів управління є [13]:

- підприємства з територіально розподіленими ресурсами (фінансовими, матеріальними, трудовими, інформаційними) з необхідністю виконувати моніторинг, оптимізацію розміщення і пересування ресурсів у просторі та часі;
- підприємства, що надають веб-сервіси для широкого кола користувачів, з необхідністю гнучкої координації використання сервісів у просторі та часі;
- підприємства оператори мобільного зв’язку з необхідністю оптимального розміщення трансляційних станцій на певній території;

- логістичні структури з необхідністю виконувати моніторинг матеріальних та фінансових потоків товарів чи вантажів у просторі та часі;
- маркетингові фірми з необхідністю управляти процесом сегментації ринку, розповсюдження та просування товарів чи послуг в просторі та часі;
- автотранспортні фірми з необхідністю оптимізувати управління рухом, забезпеченням паливом та іншими ресурсами;
- заклади охорони здоров'я з необхідністю виконувати моніторинг стану здоров'я населення та роботи медичних працівників лікувальних закладів;
- екологічні організації з необхідністю виконувати моніторинг та поліпшення стану оточення в просторі та часі;
- будівельні фірми з необхідністю виконувати пошук оптимальних місць для будівництва;
- навчальні заклади з дистанційною формою навчання та необхідністю відстежувати процес навчання в просторі та часі;
- туристичні фірми з необхідністю обирати та відслідковувати маршрути туристів;
- комунальні підприємства з необхідністю поліпшення управління всіма ресурсами побутового призначення;
- органи державного управління з дистанційною формою територіального управління.

Останнім часом широкого розповсюдження набув напрям оперативного геомодельовання [13], який базується на інструментах інтелектуального аналізу та є основою для розробки спеціалізованих систем підтримки прийняття рішень та сервіс-орієнтованих архітектур. Однак, дані розробки мало реалізовані в діючих системах, тому що є вузькоспеціалізованими. Актуальною залишається розробка концепції моделювання оперативного аналізу та прийняття рішень із застосуванням геоінформаційних технологій з метою підтримки управління з територіально розподіленими ресурсами.

Світовими лідерами в галузі розробки геоінформаційних систем є [12]:

- компанія ESRI з геоінформаційною платформою ArcGIS;
- Autodesk Inc з лінійкою програмних продуктів AutoCAD Map, AutoCAD Civil, MapGuide;
- компанія MapInfo Corp з геоінформаційною платформою MapInfo.

За визначенням розробників компанії ESRI, географічна інформаційна система (ГІС) – це система для управління географічною інформацією, її аналізу і відображення [13].

Географічна інформація подається у вигляді серій наборів географічних даних, які моделюють географічне середовище за допомогою простих узагальнених структур даних. Геоінформаційна система включає набори інструментальних засобів роботи з географічними даними.

Перспективним напрямом використання геоінформаційних технологій є електронний уряд, який заснований на автоматизації всієї сукупності процесів управління в масштабах держави з метою підвищення ефективності управління та зниження витрат соціальних комунікацій [13].

Основою ефективного проектування електронного уряду є такі технологічні компоненти [13]:

а) система підтримки прийняття рішень по територіальному управлінню;
б) система комплексного управління взаємостосунками державних органів з громадянами на основі застосування:

- 1) геоінформаційних технологій;
- 2) організаційно-економічних методів і моделей;
- 3) систем моделювання бізнес-процесів;
- 4) систем бізнес-інтелекту;
- 5) технологій інтернет-маркетингу;
- 6) оптимізації бізнес-процесів;
- 7) побудови і використання електронних платіжних систем.

База даних геоінформаційної системи є транзакційною та реляційною за моделлю організації даних.

Картографія має утилітарне призначення, сприяє прийняттю правильних рішень стосовно об'єктів, параметри котрих мають картографічну інтерпретацію, тобто будь-яка географічна карта є моделлю, яка з певною точністю відображає стан просторових об'єктів та є топографічною основою зв'язків між ними. Електронне втілення карт складає базу моделей геоінформаційних систем. Крім просторових моделей, геоінформаційна система містить множину інструментів, які реалізують математичні методи побудови моделей аналізу та прийняття рішень про об'єкти з просторовою прив'язкою.

Аналіз є ключовою функцією, яка відрізняє геоінформаційні системи від інших програм візуалізації, що відіграє важливу роль при визначенні взаємозв'язків між географічними даними під час прийняття рішень.

Одним з найбільш перспективних напрямів вирішення проблем аналізу та прийняття рішень з управління багатовекторною структурою з розподіленими ресурсами є розробка систем підтримки прийняття рішень на основі геоінформаційних систем.

Короткий огляд продуктів компанії ESRI

Компанія ESRI розрізняє три види геоінформаційних систем [12, 13]:

- геоінформаційна система як база геоданих, де ГІС – це просторова база даних, що містить набори даних, які подають географічну інформацію в контексті загальної моделі даних ГІС (векторні об’єкти, растри, мережі);

- геоінформаційна система як інструмент геовізуалізації, де ГІС – це набір інтелектуальних карт, які відображають просторові об’єкти і відношення між об’єктами на земній поверхні, дозволяють побудувати різні види карт, які можуть використовуватися для підтримки запитів, аналізу і редагування інформації;

- геоінформаційна система геообробки, де ГІС – це набір інструментів для отримання нових наборів географічних даних з існуючих наборів. Функції обробки просторових даних (геообробки) полягають у виборі інформації з існуючих наборів даних, застосуванні до них аналітичних функцій і запису отриманих результатів у вихідні набори даних.

У програмному забезпеченні ESRI® ArcGIS® ці три види геоінформаційних систем представлено каталогом (ГІС як колекція наборів геоданих), картою (ГІС як інтелектуальний картографічний вид) і набором інструментів (ГІС як набір інструментів для обробки просторових даних).

Розвиток інтернет-технологій, технологій СУБД, об’єктно-орієнтованого програмування, розробки мобільних комп’ютерів і широкомасштабне застосування геоінформаційних систем призвели до нового бачення ролі і місця геоінформаційних технологій.

Лінійка продуктів ArcGIS надає середовище, що масштабується, для роботи з геоінформаційними системами як окремих користувачів, так і груп користувачів, на серверах, через веб і в польових умовах.

Крім настільних геоінформаційних систем (GIS Desktop), програмне забезпечення можна встановлювати централізовано на серверах додатків і веб-серверах. Набори засобів геоінформаційної логіки можливо вбудовувати в призначені для користувача додатки і поширювати разом з ними.

Геоінформаційні системи застосовують у мобільних пристроях для підтримки робіт безпосередньо в місцях їх проведення – це так звані, польові геоінформаційні системи.

Корпоративні користувачі геоінформаційних систем зв’язуються з центральними геоінформаційними серверами і можуть працювати як з традиційними настільними програмними продуктами, так і з веб-браузерами, налаштованими на конкретні задачі додатками, мобільними комп’ютерами та іншими обчислювальними пристроями.

ArcGIS – це інтегрований набір програмних геоінформаційних продуктів для створення повноцінної геоінформаційної системи.

У склад ArcGIS входять такі структурні компоненти [11]:

- ArcGIS Desktop – інтегрований набір професійних настільних геоінформаційних додатків;

- ArcGIS Engine – вбудовані компоненти розробника для створення призначених для користувача геоінформаційних додатків;

- серверні геоінформаційні системи – ArcSDE®, ArcIMS®, ArcGIS Server;

- мобільні геоінформаційні системи – ArcPad®, ArcGIS Desktop та Engine для Tablet PC.

Додаток Spatial Analyst пакету ArcGIS – повнофункціональний інструмент геоінформаційного моделювання та підтримки прийняття оптимальних рішень

Пакет ArcGIS має розширені можливості щодо вирішення оптимізаційних задач стосовно об'єктів з просторовою прив'язкою.

Засоби інструменту Spatial Analyst пакету ArcGIS передбачають побудову двох типів моделей [11]:

- подання;

- процесів.

Модель подання або модель даних (описова модель) складається з наборів даних, які визначають мету моделювання. Модель створюється у вигляді шарів просторових растрових або векторних даних. Кожен шар відображає просторові відношення між об'єктами ландшафту та передбачає наявність атрибутивних даних, які в реляційній таблиці надають фактичні дані про об'єкти.

Модель процесів є описом взаємовідношень між об'єктами, які були отримані в моделях даних, дозволяє оцінити що буде, якщо буде виконана якась дія, цей вид моделювання виконується засобами інструментів просторового аналізу. Кожна операція та функція Spatial Analyst є моделлю процесу.

Розрізняють такі головні типи моделей процесів [11]:

- *моделі придатності* – пошук оптимального місцезнаходження чи оптимального пересування матеріальних, трудових, фінансових та інформаційних ресурсів;

- *моделі відстаней* – обчислення відстані між територіально віддаленими точками з урахуванням рельєфу місцевості, різницею в обліку часу;

- *моделі гідрології* – визначення куди буде направлена лавина чи потік;

- *моделі поверхонь* – визначення: кадастрових особливостей, рівня забруднення різних регіонів.

Повна геомодель складається з послідовності локальних задач, моделей процесів, наборів даних для виконання дій процесів у кожній локальній задачі та дозволяє скласти очікувану карту з локальних наборів, яка надає уявлення про стан предметної області для прийняття управлінських рішень.

Модель геомodelювання в середовищі пакету ArcGIS задано у вигляді кортежу [11]:

$$\langle F, f_i, R, C_c, Sh_i, P_m, W_j, [\langle \text{допоміжні дані} \rangle] \rangle, \quad (1.15)$$

де F – мета (або постановка задачі) геомodelювання;

f_i – локальні задачі (складові загальної задачі моделювання з визначенням локальних критеріїв вирішення кожної задачі);

R – глобальний критерій оптимізації (головний (найбільш вагомий) з локальних критеріїв);

C_c – обмеження для прийняття рішення;

Sh_i – вхідні набори просторових даних (векторні теми, атрибутивні таблиці, растрові дані);

P_m – процеси (функції) моделювання;

W_j – вага вихідного набору даних.

Параметри, що наведені у квадратних дужках, вказуються в разі їх наявності та необхідності використання в обчисленнях або для забезпечення наочності карти.

Приклади аудиторних та домашніх задач

Задача 1.22 Нехай необхідно знайти місце розташування підприємства, для якого вказана відстань від міста (N км).

Мета геомodelювання – пошук оптимального (субоптимального або раціонального) плану розміщення підприємства за критерієм мінімізації вартості будівництва та наявності певних обмежень.

Необхідно врахувати, відносно місцевості, яка обрана для розташування підприємства, такі фактори, як:

– відстань N км від міста;

– вартість земель;

– вартість доставки матеріалів та інших ресурсів для будівництва, яка обумовлюється близькістю до автотранспортних шляхів та населених пунктів з вільною робочою силою;

– тип землеустрою місцевості.

Модель геомодельовання у цьому випадку має вигляд [11]:

$$\langle F, f_i, R, C_c, Sh_i, P_m, W_j, [G_g, Q_r] \rangle, \quad (1.16)$$

де F – оптимізація розміщення нового підприємства;

f_i – розміщення підприємства в N кілометровій зоні відносно міста, відносно ділянок місцевості з відомою вартістю, відносно автотранспортних шляхів та пунктів, де не менше, ніж 80% населення є вільною робочою силою, $i = 1, \dots, L$;

R – мінімальна вартість будівництва;

C_c – підприємство не повинно бути розташованим на землях сільськогосподарських угідь, на території заповідників та заказників;

Sh_i – вхідні набори просторових даних включають векторні теми з відповідними атрибутивними таблицями про N км зону відносно міста, землі з певною вартістю, автотранспортні шляхи, населені пункти, землі сільськогосподарських угідь, території заповідників та заказників;

P_m – відбір даних за певною ознакою, вимірювання відстаней між об'єктами, конвертування форматів даних, перекласифікація наборів даних, ранжування об'єктів;

W_j – значення ваги вихідного набору даних оцінюється експертами або ОПР;

G_g – геологічні, гідрологічні особливості місцевості, обраної для розміщення нового підрозділу;

Q_r – обмеження на специфічні для задачі види ресурсів.

Отримана модель реалізовує метод багатокритеріального прийняття рішень експертами, у групу яких можуть входити спеціалісти з різних галузей, наприклад, геодезисти, інженера-геоінформатики, екологи, економісти.

Геомодельовання дозволяє ОПР прийняти правильне рішення про оптимальне (раціональне) місце розміщення або координати на карті нового підприємства за критерієм мінімальної вартості будівництва з врахуванням вказаних обмежень.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення головним типам моделей процесів.
2. Дайте визначення поняттю «модель геомодельовання».

2 ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Розрахунково-графічна робота є складовою частиною навчальної дисципліни «Технології підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах» та призначена для практичного закріплення і розширення отриманих теоретичних знань.

Розрахунково-графічна робота виконується по темі «Практичне використання технологій підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах» – 15 годин.

Кожний студент виконує індивідуальне завдання, що видане викладачем.

2.1 Структура розрахунково-графічної роботи

За результатами розрахунково-графічної роботи оформлюється пояснювальна записка згідно вимог ДСТУ 3008-95 та ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.

Пояснювальна записка повинна містити:

- вступ;
- постановку завдання дослідження;
- аналіз предметної області;
- застосування обраних технологій підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах;
- аналіз отриманого результату;
- висновок;
- список використаних джерел.

У вступі необхідно дати короткий опис предметної області, сформулювати мету роботи і показати актуальність проведеного дослідження.

Постановка завдання дослідження повинна містити:

- визначення сфери дослідження;
- перелік обраних технологій підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах, які необхідно використати у роботі;
- вимоги до результату дослідження.

У розділі «Аналіз предметної області» необхідно описати існуючі технології підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах, враховуючи особливості вибраної предметної області.

У розділі «Застосування обраних технологій підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах» необхідно вирішити чотири завдання.

Завдання 2.1 Інформаційна підготовка до прийняття рішень.

Для заданої предметної області (із застосуванням геоінформаційних систем) здійснити інформаційну підготовку до прийняття рішень:

- попередньо визначити можливі альтернативи;
- визначити критерії порівняння альтернатив;
- для кожного критерію визначити якісну шкалу значень;
- здійснити критеріальний опис можливих альтернатив;
- враховуючи тільки два критерії, побудувати граф домінування.

Критерії оцінювання:

а) на оцінку «задовільно»:

- 1) не менше трьох альтернатив;
- 2) не менше п'яти критеріїв;
- 3) не менше трьох значень на шкалі кожного критерію;

б) на оцінку «добре»:

- 1) не менше чотирьох альтернатив;
- 2) не менше десяти критеріїв;
- 3) не менше чотирьох значень на шкалі кожного критерію;

в) на оцінку «відмінно»:

- 1) не менше п'яти альтернатив;
- 2) не менше п'ятнадцяти критеріїв;
- 3) не менше п'яти значень на шкалі кожного критерію.

Завдання 2.2 Порядкова класифікація альтернатив.

Здійснити розбиття альтернатив на два класи («хороші» та «погані»), скориставшись таблицею 2.1.

Критерії оцінювання:

а) на оцінку «задовільно» (три критерії, двадцять сім альтернатив):

- 1) критерій 1 – 3 значення;
- 2) критерій 2 – 3 значення;
- 3) критерій 3 – 3 значення;

б) на оцінку «добре» (чотири критерії, тридцять шість альтернатив):

- 1) критерій 1 – 2 значення;
- 2) критерій 2 – 2 значення;
- 3) критерій 3 – 3 значення;
- 4) критерій 4 – 3 значення;

в) на оцінку «відмінно» (п'ять критеріїв, сорок вісім альтернатив):

- 1) критерій 1 – 2 значення;
- 2) критерій 2 – 2 значення;
- 3) критерій 3 – 2 значення;
- 4) критерій 4 – 2 значення;
- 5) критерій 5 – 3 значення.

Таблиця 2.1 – Варіанти відповідей ОПР (відповідають порядковому номеру студента у журналі) при класифікації самої інформативної альтернативи

№	Відповіді ОПР														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
11	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
13	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
15	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
17	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
19	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Примітка щодо таблиці 2.1:

- 1 – альтернатива належить першому класу;
- 2 – альтернатива належить другому класу.

Завдання 2.3 Впорядкування альтернатив.

Побудувати єдину порядкову шкалу та порівняти альтернативи.

Критерії оцінювання:

а) на оцінку «задовільно» (три критерії, три альтернативи):

- 1) альтернатива 1 – (1, 2, 3);
- 2) альтернатива 2 – (2, 3, 1);
- 3) альтернатива 3 – (3, 1, 2);

б) на оцінку «добре» (чотири критерії, чотири альтернативи):

- 1) альтернатива 1 – (1, 2, 3, 4);
- 2) альтернатива 2 – (2, 3, 4, 1);
- 3) альтернатива 3 – (3, 4, 1, 2);
- 4) альтернатива 4 – (4, 1, 2, 3);

в) на оцінку «відмінно» (п'ять критеріїв, п'ять альтернатив):

- 1) альтернатива 1 – (1, 2, 3, 4, 5);
- 2) альтернатива 2 – (2, 3, 4, 5, 1);
- 3) альтернатива 3 – (3, 4, 5, 1, 2);
- 4) альтернатива 4 – (4, 5, 1, 2, 3);
- 5) альтернатива 5 – (5, 1, 2, 3, 4).

При побудові єдиної порядкової класифікації варіанти відповідей ОПР необхідно взяти з таблиці 2.1, де 1 означає, що ОПР з пари пред'явлених альтернатив вважає найкращою першу альтернативу, а 2 – другу альтернативу.

Завдання 2.4 Вибір найкращої альтернативи.

Методом парних порівнянь вибрати найкращу із запропонованих альтернатив.

Критерії оцінювання:

а) на оцінку «задовільно» (п'ять критеріїв, три альтернативи):

- 1) альтернатива 1 – (1, 2, 3, 1, 2);
- 2) альтернатива 2 – (2, 3, 1, 2, 3);
- 3) альтернатива 3 – (3, 1, 2, 3, 1);

б) на оцінку «добре» (десять критеріїв, чотири альтернативи):

- 1) альтернатива 1 – (1, 2, 3, 4, 1, 2, 3, 4, 1, 2);
- 2) альтернатива 2 – (2, 3, 4, 1, 2, 3, 4, 1, 2, 3);
- 3) альтернатива 3 – (3, 4, 1, 2, 3, 4, 1, 2, 3, 4);
- 4) альтернатива 4 – (4, 1, 2, 3, 4, 1, 2, 3, 4, 1);

в) на оцінку «відмінно» (п'ятнадцять критеріїв, п'ять альтернатив):

- 1) альтернатива 1 – (1, 2, 3, 4, 5, 1, 2, 3, 4, 5, 1, 2, 3, 4, 5);
- 2) альтернатива 2 – (2, 3, 4, 5, 1, 2, 3, 4, 5, 1, 2, 3, 4, 5, 1);
- 3) альтернатива 3 – (3, 4, 5, 1, 2, 3, 4, 5, 1, 2, 3, 4, 5, 1, 2);
- 4) альтернатива 4 – (4, 5, 1, 2, 3, 4, 5, 1, 2, 3, 4, 5, 1, 2, 3);
- 5) альтернатива 5 – (5, 1, 2, 3, 4, 5, 1, 2, 3, 4, 5, 1, 2, 3, 4).

Під час компенсації недоліків варіанти відповідей ОПР необхідно взяти з таблиці 2.1, де 1 означає, що ОПР з пари пред'явлених альтернатив вважає найкращою першу альтернативу, а 2 – другу альтернативу.

Провести аналіз отриманого результату на основі застосування обраних технологій підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах.

У висновку повинні бути підведені підсумки щодо застосування обраних технологій підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах.

Список використаних джерел повинен містити посилання на основну літературу, що використана під час виконання розрахунково-графічної роботи.

2.2 Правила оформлення розрахунково-графічної роботи

Розрахунково-графічну роботу оформлюють на аркушах формату А4 (210×297 мм). Текст роботи слід друкувати, додержуючись таких розмірів полів: верхнє, лівє і нижнє – не менше 20 мм, правє – не менше 10 мм.

Гарнітура шрифту роботи – Times New Roman (Суг), кегль – 14, колір друку – чорний, міжрядковий інтервал – полуторний. Щільність тексту повинна бути рівномірною (без розріджень і ущільнень). Абзацний відступ повинен бути однаковим впродовж усього тексту і дорівнювати п'яти знакам.

Розділи і підрозділи повинні мати заголовки. Заголовки структурних елементів роботи і заголовки розділів слід розташовувати посередині рядка і друкувати великими літерами без крапки в кінці, не підкреслюючи.

Нижче кожного розділу повинно бути залишено не менше одного вільного рядка. Вище і нижче кожного підрозділу повинно бути залишено не менше одного вільного рядка.

Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів слід починати з абзацного відступу і друкувати маленькими літерами, крім першої великої, не підкреслюючи, без крапки в кінці. Якщо заголовок складається з двох або більше речень, їх розділяють крапкою.

Сторінки роботи слід нумерувати арабськими цифрами, дотримуючись наскрізної нумерації по всьому тексту. Номер сторінки проставляється в правому верхньому кутку сторінки без крапки в кінці. Титульний аркуш включають до загальної нумерації сторінок звіту. Номер сторінки на титульному листі не проставляють.

Розділи, підрозділи, пункти, підпункти роботи слід нумерувати арабськими цифрами. Розділи роботи повинні мати порядкову нумерацію в межах викладення суті роботи і позначатися арабськими цифрами без крапки, наприклад, 1, 2, 3...

Підрозділи повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, розділених крапкою. Після номера підрозділу крапку не ставлять, наприклад, 1.1, 1.2 і т.д.

Пункти повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу або підрозділу. Номер пункту складається з номера розділу і порядкового номера пункту, або з номера розділу, порядкового номера підрозділу та порядкового номера пункту, відокремлених крапкою. Після номера пункту крапку не ставлять, наприклад, 1.1, 1.2 або 1.1.1, 1.1.2 і т.д.

Якщо розділ або підрозділ складається з одного пункту, або пункт складається з одного підпункту, його нумерують.

Ілюстрації (креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, фотознімки) слід розташовувати в роботі безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. На всі ілюстрації мають бути посилання у роботі. Якщо ілюстрації створені не автором звіту, то необхідно дотримуватися вимог чинного законодавства про авторські права.

Ілюстрації можуть мати назву, яку розміщують під ілюстрацією. При необхідності під ілюстрацією розміщують пояснювальні дані (під рисунковий текст). Ілюстрація позначається словом «Рисунок», яке разом з назвою ілюстрації поміщають після пояснювальних даних, наприклад, «Рисунок 3.1 – Схема розміщення». Ілюстрації слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком ілюстрацій, наведених у додатках. Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, розділених крапкою, наприклад, рисунок 3.2 – другий рисунок третього розділу.

Цифровий матеріал, як правило, оформлюють у вигляді таблиць. Таблицю слід розташовувати безпосередньо після тексту, в якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці.

На всі таблиці повинні бути посилання в тексті звіту.

Таблиці слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком таблиць, що наводяться в додатках. Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, таблиця 2.1 – перша таблиця другого розділу. Таблиця може мати назву, яку друкують малими літерами (крім першої великої) і вміщують над таблицею. Назва повинна бути короткою і відбивати зміст таблиці.

Якщо рядки або графи таблиці виходять за межі формату сторінки, таблицю поділяють на частини, розміщуючи одну частину під одною, або поруч, або переносячи частину таблиці на наступну сторінку, повторюючи в кожній таблиці її головку і боковик.

При поділі таблиці на частини допускається її головку або боковик замінити відповідно номерами граф чи рядків, нумеруючи їх арабськими цифрами у першій частині таблиці.

Напис «Таблиця 2.2 – Назва таблиці» вказують один раз зліва над першою частиною таблиці, над іншими пишуть: «Продовження таблиці 2.2» із зазначенням номера таблиці.

Заголовки граф таблиці друкують з великих літер, а підзаголовки – з малої, якщо вони складають одне речення із заголовком.

Перерахування, при необхідності, можуть бути приведені всередині пунктів або підпунктів. Перед перерахуванням ставлять двокрапку.

Перед кожною позицією переліку слід ставити малу літеру українського алфавіту з дужкою, або, не нумеруючи – дефіс (перший рівень деталізації).

Для подальшої деталізації переліку слід використовувати арабські цифри з дужкою (другий рівень деталізації).

Приклад:

а) вступна частина роботи;

б) основна частина роботи:

1) вступ;

2) розділи роботи;

3) висновки;

в) додатки.

Перерахування першого рівня деталізації друкують малими літерами з абзацного відступу, другого рівня – з відступом щодо місця розташування перерахувань першого рівня.

Формули та рівняння розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині сторінки. Вище і нижче кожної формули або рівняння повинно бути залишено не менше одного вільного рядка.

Формули та рівняння слід нумерувати порядковою нумерацією в межах розділу. Номер формули або рівняння зазначають на рівні формули або рівняння в дужках у крайньому правому положенні на рядку.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули чи рівняння, слід наводити безпосередньо під формулою у тій послідовності, в якій вони наведені у формулі чи рівнянні.

Пояснення значення кожного символу і числового коефіцієнта слід давати з нового рядка. Перший рядок пояснення починають з абзацу словом «де» без двокрапки. Переносити формули чи рівняння на наступний рядок допускається тільки на знаках виконуваних операцій, повторюючи знак операції на початку наступного рядка. Коли переносять формули чи рівняння на знаку операції множення, застосовують знак «*».

Посилання в тексті на джерела слід зазначати порядковим номером за переліком посилань, виділеним двома квадратними дужками. Бібліографічні описи в переліку посилань подають у порядку, в якому вони вперше згадуються в тексті. Бібліографічні описи в переліку посилань подають на мові оригіналу.

2.3 Приклади бібліографічного опису в переліку посилань

Книга одного автора:

Андреев, В. В. Как организовать делопроизводство на предприятии [Текст] / В. В. Андреев. – М. : ИНФРА-М, 1997. – 94 с.

Книга двох авторів:

Белов, А. В. Финансы и кредит [Текст]: учеб. / А. В. Белов, В. Н. Николаев. – Киев : Университет, 2004. – 215 с.

Книга трьох авторів:

Агафонова, Н. Н. Гражданское право [Текст]: учеб. пособие / Н. Н. Агафонова, Т. В. Богачева, Л. И. Глушкова; под общ. ред. А. Г. Калпина. – Харьков : Фактор, 2000. – 542 с.

Книга чотирьох авторів:

Элементы информатики [Текст]: довідник / В. С. Височанський, А. І. Кардаш, В. С. Костев, В. В. Черняхівський. – Київ : Наукова думка, 2003. – 192 с.

Книга п'яти авторів та більше:

Коротковолновые антенны [Текст]: учеб. пособие / Г. З. Айзенберг, С. П. Белоусов, Я. М. Журбин и др.; под общ. ред. А. А. Стогния. – М. : Радио и связь, 2003. – 192 с.

Перекладне видання:

Нойман, Э. Происхождение и развитие сознания [Текст]: пер. с англ. – Киев : Ваклер, 1998. – 462 с.

Книги під заголовком:

Информационные технологии в маркетинге [Текст]: учеб. / под ред. Г. А. Титаренко. – М. : ЮНИТИ, 2000. – 335 с.

Статті із журналів:

Гончаров, В. А. Численная схема моделирования дозвуковых течений вязкого сжимаемого газа [Текст] / В. А. Гончаров, В. М. Кравцов // Журнал вычислительной математики и мат. физики. – 1988. – Т. 28, №12. – С. 1858-1866.

Збірники наукових праць:

Отчет о выполнении плана НДР за 2003 год [Текст]: сб. науч. тр. / Рос. Акад. мед. наук, Сиб. отд. – Новосибирск : СО РАМН, 2004. – 83 с.

Тези конференцій:

Образование, наука, производство на пути углубления интеграции и повышения качества инженерного образования [Текст]: тез. докл. науч.-практ. конф. (окт. 2000) / отв. ред. В. Г. Вдовенко. – Красноярск : САА, 2000. – 53 с.

Дисертації:

Антопольский, А. Б. Описание информационных языков [Текст]: дис. ... канд. филол. наук / А. Б. Антопольский. – Москва, 1969. – 404 с.

Матеріали конференцій:

Проблемы экономики, организации и управления реструктуризацией и развитием предприятий промышленности [Текст]: материалы IV междунар. науч.-практ. конф., 30 марта 2005 г. Новочеркасск / редкол. : Б. Ю. Серебряков (отв. ред.). – Новочеркасск : Темп, 2005. – 58 с.

Автореферати дисертацій:

Бутковский, О. Я. Обратные задачи хаотичной динамики и проблемы предсказуемости хаотичных процессов [Текст]: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.03 / О. Я. Бутковский; [Ин-т радиотехники и электроники РАН]. – М., 2004. – 39 с.

Віддаленого доступу:

Основные направления исследований, основанные на семантическом анализе текстов [Электронный ресурс] / С.-Петербург. гос. ун-т, фак. прикладной математики – процессов управления. – Режим доступа: www/ URL: <http://arcp.arpmath.spbu.ru/ru/staff/tuzov/onapr.html/> – 10.12.2016 г. – Загл. с экрана.

Локального доступу:

Internet шаг за шагом [Электронный ресурс]: интеракт. учеб. – Электрон. дан. и прогр. – СПб. : Питер Ком, 1997. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: ПК от 486 DX 66 МГц; RAM 1616 Мб; Windows 95; зв. плата. – Загл. с этикетки диска.

2.4 Критерії оцінювання розрахунково-графічної роботи

Критеріями оцінювання розрахунково-графічної роботи є:

- глибина і актуальність знань, показаних студентом в розрахунково-графічній роботі;
- відповідність отриманих результатів завданню.

Оцінка «зараховано» (з подальшим перерахунком у відповідні бали) ставиться, якщо всі критерії повністю досягнуті студентом.

Оцінка «не зараховано» ставиться, якщо не повністю досягнуті всі критерії або вчинено більше двох грубих помилок, у такому разі робота повертається студентові на доопрацювання. Якщо розрахунково-графічну роботу не зараховано, то студент не може бути допущений до семестрового контролю з дисципліни «Технології підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах».

3 ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Завданням самостійної роботи студентів є опрацювання додаткової інформації для більш поглибленого вивчення дисципліни «Технології підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах» з таких тем:

- методологічні основи технологій підтримки прийняття рішень;
- оцінювання та вибір методів підтримки прийняття рішень;
- основні типи задач прийняття рішень;
- методи оцінки та порівняння багатокритеріальних альтернатив;
- особливості застосування технологій підтримки прийняття рішень;
- сучасні технології підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах.

3.1 Методологія побудови інтелектуальних систем прийняття рішень

Методологія систем прийняття рішень – це вчення, що описує філософію та закономірності процесу прийняття рішень. Вона дає можливість та інструментарій виявити проблему, визначає методи, моделі та технологію підготовки, розробки, ухвалення управлінського вирішення, формує найважливіші практичні рекомендації [14].

Якщо дотримуватися класифікації проблем прийняття рішень, запропонованої американськими вченими Г. Саймоном і А. Ньюелом, то за ступенем складності проблем їх можна розподілити на три групи:

– перша група – проблеми структуровані, в яких співвідношення між елементами можуть набувати числових значень чи символів. У вирішенні структурованих проблем використовують кількісні методи аналізу: лінійного, нелінійного, динамічного програмування, теорії масового обслуговування, а також теорії ігор, тобто методологію та елементи інструментарію, що дістали назву дослідження операцій;

– друга група – проблеми слабкоструктуровані, що характеризуються насамперед якісними (вербальними), а також і кількісними залежностями між елементами досліджуваної системи та зовнішнім середовищем. Зазначимо, що слабкоструктуровані проблеми містять як якісні чинники та зв'язки між елементами, так і кількісні, в яких переважають перші. Це основа застосування системної парадигми, побудови математичних моделей на підґрунті використання інструментарію ризикології, нечіткої логіки, нейронних мереж, генетичних алгоритмів, поєднання кількісних методів дослідження операцій, методології та інструментарію ризикології, евристичних методів, тобто застосування інструментарію штучного інтелекту;

– третя група – проблеми неструктуровані, що містять лише вербальний опис деяких із найважливіших ресурсів, ознак і характеристик, кількісні залежності між якими в явному вигляді невідомі. Вирішення неструктурованих проблем розробляються з використанням методів і моделей штучного інтелекту (евристичних методів, які ґрунтуються на інтуїції, логіці, теоретичних міркуваннях, досвіді, професіоналізмі особи чи колегіального органу – суб'єкта управління). До їх складу включаються експертні методи і моделі, а також нейронечіткі моделі, важливу роль відіграють діалогові процедури та системний аналіз.

Аналіз наукових праць стосовно розробки і застосування систем прийняття рішень в управлінні просторовими об'єктами і підходів до їх математичного моделювання показує, що в сучасних умовах складність слабкоструктурованих проблем (задач) зростає. Це, а також динамічність і невизначеність процесів в умовах трансформаційної ситуації потребують розвитку та вдосконалення концептуальних положень, методології та інструментарію моделювання слабкоструктурованих задач (проблем) як ключових складових у проблемах прийняття раціональних управлінських рішень.

Аналіз класичних математичних методів та моделей (дослідження операцій) для прийняття рішень, які досить широко застосовуються в багатьох прикладних задачах та предметних галузях, дозволяє дійти висновку, що їх традиційного інструментарію середини ХХ століття недостатньо для підтримки прийняття рішень у разі слабкоструктурованих та неструктурованих задач. Тобто існує потреба у розробці та застосуванні методів і моделей штучного інтелекту з урахуванням ступеня ризику.

Під поняттям «інтелектуальна система прийняття рішень» (ІСПР) розумітимемо людино-машинні інтерактивні системи, що допомагають відповідальній та компетентній особі приймати рішення, у процесі вироблення яких задіяні штучні підсилювачі інтелекту, здатні до набуття знань, навчання в ході аналізу накопичених даних, адаптації стосовно динамічно змінюваних зовнішніх і внутрішніх обставин, а також до перетворень структури і складових досліджуваної системи, що функціонують в умовах невизначеності та зумовленого цим ризику [15].

Надзвичайно актуальними і такими, що мають широке поле використання, є задачі пошуку ефективних управлінських рішень за умов невизначеності, конфлікту і породженого цим ризику.

Такі задачі характеризуються неповнотою, недостовірністю інформації, різноманітністю та складністю дії на процес прийняття рішень великої кількості чинників. Значний вплив на прийняття рішень мають як багатокритеріальність підтримки рішень, так і багатоаспектність наслідків рішень, неповнота даних про можливі результати, необхідність уміти прогнозувати можливі сценарії розвитку подій.

Потрібно також урахувати і неоднозначність та розпливчастість факторів та параметрів ситуації на момент прийняття рішень, високу динамічність та нелінійність соціально-економічних процесів, роль особистості в ході розроблення, обґрунтування й ухвалення рішень.

Невизначеність – фундаментальна характеристика недостатньої інформаційної забезпеченості прийняття рішень, відсутність знань стосовно певного проблемного питання. Невизначеність класифікують і деталізують за допомогою низки способів. Отже, породжений невизначеністю ризик є невід’ємною складовою в оцінюванні ситуації та прийнятті рішень [16].

Ризик – це системна характеристика (категорія), що відображає особливості сприйняття зацікавленими суб’єктами суспільних відношень об’єктивно існуючих невизначеності та конфліктності, іманентних процесам прийняття рішень.

У низці наукових праць пропонуються концептуальні положення та інструментальні засоби до створення інтелектуальних систем прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності та породженого цим ризику, з використанням технологій штучного інтелекту.

Проектування та реалізація інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (ІСППР) у слабкоструктурованих і неструктурованих проблемних ситуаціях має спиратись на методологію, яка [14]:

- здатна здійснити постановку задач;
- використовує інструментарій з таких сфер наукових і прикладних знань, як дослідження операцій, ризикологія, нейронні мережі, генетичні алгоритми, нечітка логіка, математичні методи та моделі прогнозування, математична статистика, економетрика, експертні системи, і дає змогу деталізувати задачі з виявлення структур у слабкоструктурованих проблемах і завданнях;
- має засоби, що дозволяють використовувати відомі постановки задач.

Інтеграція інтелектуальних засобів моделювання знань у прийнятті рішень, таких як штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми, засновані на нечіткій логіці з експертними системами, дозволить створювати достатньо потужні ІСПР.

3.2 Системна парадигма як підґрунтя прийняття рішень

Вважається, що *системна парадигма* – це методологія вирішення проблем і прийняття рішень, яка ґрунтується на структуризації систем, якісному та кількісному порівнянні альтернатив.

Системна парадигма використовує як класичний математичний апарат, так і інші якісні (вербальні та кількісні) методи із логіки, теорії інформації, структурної лінгвістики, теорії нечітких множин, а також моделей та методів штучного інтелекту.

На сучасному етапі розвитку методології та інструментарію системної парадигми у сфері прийняття управлінських рішень основними формами системних досліджень є системний підхід, загальна теорія систем, теорія організації, теорія управління, системний аналіз, кібернетика, синергетика.

Загальну теорію систем, теорію організації та теорію управління відносять до теоретичного розділу системних досліджень, а системний аналіз, математичне моделювання, кібернетику та синергетику – до прикладного.

Головні концептуальні положення системної парадигми в обґрунтуванні управлінських рішень полягають у такому:

- розглядаються як усі теоретично можливі альтернативні методи і засоби досягнення цілі, так і комбінації і поєднання різних наукових підходів;
- альтернативи систем оцінюються з позицій довготривалої перспективи;
- системну парадигму слід застосовувати завжди, без неї не обійтись у разі відсутності стандартних (формалізованих) рішень;
- ураховуються різні альтернативні думки щодо вирішення однієї й тієї самої проблеми;
- розглядаються складні питання, для котрих не чітко окреслені вимоги щодо вартості й тривалості;
- визнається вплив як об'єктивних, так і суб'єктивних чинників у процесі прийняття рішень та відповідно до цього розробляються процедури узгодження різних поглядів;
- особлива увага приділяється чинникам невизначеності та породженого ними ризику, їх урахуванню та оцінюванню у виборі оптимальних або раціональних рішень серед множини варіантів.

Особливість системної парадигми полягає в тому, що проблеми розглядаються в цілому, з акцентом на прозорість аналізу, на кількісні та якісні методи і на виявлення та врахування невизначеності. Суттєвими є також схеми, алгоритми та моделі, в яких зв'язки не можуть бути однозначно вираженими.

Перевага системної парадигми полягає в тому, що вона дозволяє ефективно поєднувати формалізм із судженнями та інтуїцію експертів у відповідних галузях знань, її корисність полягає в такому:

- у глибшому розумінні та проникненні в сутність проблеми: практичні зусилля, що полягають у виявленні взаємозв'язків між якісними та кількісними оцінками, сприяють виявленню латентних (прихованих) залежностей, що пов'язані з тими чи іншими рішеннями;

- у більш точному та чіткому формулюванні цілей і завдань, що дозволяє знизити можливі неясні аспекти багатопланових цілей;

- має перевагу в процесі аналогії та порівняння: аналіз може бути здійснений у такий спосіб, що плани роботи і політика одного підприємства можуть бути з користю узгоджені й порівняні з планами роботи і політикою інших підприємств;

- у більшій корисності та ефективності: розробка нових методів має призвести до раціонального розподілу ресурсів, більш упорядковано здійснити перевірку цінності інтуїтивних суджень.

Однак, разом із перевагами існує певна обмеженість, зумовлена зокрема:

- невідворотною неповнотою аналізу;

- наближеністю до необхідного рівня ефективності;

- відсутністю способів точного прогнозування перспективи.

Методи системної парадигми можуть бути раціонально використані в процесі прийняття рішень за обставин високої невизначеності та в разі слабкоструктурованих проблем (створення нової складної системи, формування комплексних цільових програм, прогнозування витрат).

Одним із головних завдань системної парадигми є вирішення проблем щодо прийняття рішень. Як неодноразово зазначалось, проблема прийняття рішення пов'язана з вибором альтернативи в умовах різного роду невизначеності. Невизначеність, зокрема, зумовлена багатокритеріальністю завдань оптимізації, не завжди однозначно зрозумілими цілями розвитку систем, неоднозначністю сценаріїв розвитку системи, недостатністю апріорної інформації про систему, впливом випадкових чинників у процесі динамічного розвитку системи та іншими обставинами.

Головним сенсом застосування методології системної парадигми є складні слабкоструктуровані проблеми прийняття рішень, у вивченні яких слід застосовувати неформальні процедури, здоровий глузд, а способи опису ситуацій відіграють не меншу роль за формальний класичний математичний апарат.

На етапі постановки завдання дослідження формується мета аналізу, яка вважається зовнішнім чинником щодо системи. Отже, мета стає самостійним об'єктом для вивчення, і тому її необхідно якомога більше формалізувати. Завдання системної парадигми полягає у проведенні належного аналізу невизначеностей, обмежень і у формулюванні завдання прийняття рішень.

Побудова математичної моделі полягає в наданні установленої, прийнятої форми досліджуваної системи, процесу чи явища – це опис процесу мовою математики. Для побудови математичної моделі складається математичний опис явищ і процесів, які відбуваються в системі. Оскільки знання завжди відносні, то опис, зроблений будь-якою мовою, відображає лише ключові (головні) прикмети процесів, які відбуваються, і ніколи не буває абсолютно вичерпним. Побудова математичної моделі слугує підґрунтям для ефективного застосування системної парадигми, є центральним етапом дослідження і проектування будь-якої системи.

Слід мати на увазі, що застосування системної парадигми, зокрема системного аналізу, може мати низку особливостей, які приводять до потреби широкого введення, разом із формальними процедурами, евристичних методів. Причини, через які звертаються до таких підходів, насамперед пов'язані з браком апріорної інформації про процеси, що відбуваються в досліджуваній системі. Успішне розв'язання задач системного аналізу потребує використання на кожному етапі дослідження неформальних суджень, тому перевірка якості рішення, його відповідність вихідній меті дослідження перетворюються на важливу теоретичну проблему.

Важливим для опису та аналізу системи є поняття «алгоритм функціонування», тобто метод отримання кінцевих (бажаних) характеристик з урахуванням впливів навколишнього середовища. За суттю алгоритм функціонування розкриває механізм вияву внутрішніх характеристик системи, котрі визначають поведінку системи згідно з законами та особливостями її функціонування.

3.3 Послідовність кроків вирішення проблем та прийняття рішень

Визначення проблемної ситуації

З'ясування сутності проблеми – об'єктивно виникаючі суперечності в тих чи інших ситуаціях та діях, вибір способів їх розв'язання, розбіжності між потребами в нових знаннях.

Проблемні ситуації виникають у ході пізнавальної діяльності суб'єкта, спрямованої на деякий об'єкт, коли суб'єкт стикається з невідповідностями і перешкодами. Перешкода може мати різну природу: це недостатність і невідповідність знань, засобів і способів їх застосування, необхідність виконати певні невідомі дії для досягнення мети чи зробити вибір між кількома альтернативами. У цих випадках виникає ситуація, яку називають *проблемною*.

Проблемна ситуація – це розрив у діяльності, неузгодженість між цілями і можливостями суб'єкта, тобто наявність умов, які породжують проблему [2].

Типові проблемні ситуації:

- результати діяльності не відповідають бажаним цілям;
- раніше напрацьовані, теоретично обґрунтовані та практично перевірені методи вирішення не дають необхідного ефекту і не можуть бути використані;
- у процесі практичної діяльності виявляються нові факти, які не вкладаються в межі існуючих теоретичних уявлень чи методик;
- одна із кількох часткових теорій суперечить більш загальній теорії чи іншим сферам життя у межах цієї галузі знань.

Сенс формулювання проблеми полягає в тому, щоб виразити її сутність у відомих термінах.

Успішне формулювання проблеми вже може вважатись половиною вирішення проблеми. Однак «наполовину вирішена» унаслідок формулювання проблема насправді є не вирішеною проблемою, але її формулювання означає, що головні її елементи у потрібний спосіб визначені та синтезовані.

У формулюванні (постановці) проблеми мають бути виконаними такі дії:

- по-перше, необхідно описати, яким чином проблема була виявлена;
- по-друге, з'ясувати, чому вона розглядається як проблема;
- по-третє, відрізнити її від ознак деяких суміжних проблем;
- по-четверте, дати визначення небажаних наслідків проблеми.

Необхідність дослідження історичних аспектів проблеми має суттєве значення, дозволяє встановити обставини, котрі породили проблему, створити умови, класифікувати етапи та опрацювати засоби її усунення. Формулювання проблеми має на увазі знання обставин її виникнення, що можуть бути прийнятною спільною основою і можуть допомогти у розкритті зацікавленими сторонами сутності проблеми. Однак, варто зазначити, що кожна із зацікавлених сторін має власне бачення проблеми та своє ставлення до неї.

Визначення мети системи

Мета – це варіант задоволення певної потреби, вибраної із деякої множини альтернатив, сформульованих на підґрунті спеціального знання.

Потреба – категорія об'єктивна, мета – суб'єктивна категорія, котра визначається, зокрема, наявним досвідом. Результат – це міра досягнення конкретної мети, тобто міра задоволення потреби. Мета є конкретним виразом потреби, яка сформульована на підґрунті наявного досвіду і є такою, що розкриває конкретне функціонування досліджуваної системи, звідси виникає ланцюжок «причина-наслідок»:

потреба → мета → функціонування системи → результат.

Реалізація потреби пов'язана з можливими альтернативними шляхами її реалізації. Генерація альтернативного варіанта пов'язана з оцінюванням можливостей на даному рівні знань. Тобто визначається не лише вибором певної і конкретної сукупності методів та засобів, які забезпечують реалізацію потреби в даних умовах.

Потреба – це те, що об'єктивно пов'язує людину з довкіллям (світом), зокрема, і з соціумом, певне забезпечення її життєдіяльності чи існування.

Мета – це уявлення (модель) майбутнього (очікуваного) результату, здатне задовольнити вихідну потребу за наявних реальних можливостей, оцінених на основі досвіду.

Розглянемо властивості мети:

– мета перебуває у безпосередній залежності від потреби і в цьому аспекті є її прямим наслідком;

– вибір мети суто суб'єктивний, тобто ґрунтується на конкретному знанні індивідуума чи співтовариства;

– мета конкретна;

– мета завжди несе елемент невизначеності, що призводить до деякої неузгодженості фактично здобутого результату та сформованої моделі;

– наявність невизначеності у вихідній моделі робить мету лише засобом оцінювання майбутнього результату.

Розглянемо різні варіанти трансформації вимог у мету:

– вимога визначає всі елементи мети (у такому разі проблема вибору для соціального елемента повністю відсутня);

– вимога не обмежує умов реалізації, точно визначаючи лише основні елементи (у цьому разі соціальному елементу потрібно як формувати мету, так і створювати умови, щоб певні способи використання призначених засобів викликали бажаний результат);

– вимога не обмежує умови і методи реалізації, однак, точно розпізнає модель результату і сукупності засобів її реалізації. Свобода вибору в досягненні мети розширюється, оскільки індивідуум може використовувати всі надані у його розпорядження засоби на свій розсуд, за умови одержання необхідного результату;

– вимога визначає лише ключові параметри моделі результату. Соціальний елемент має повну свободу вибору в межах засобів, які наявні у його розпорядженні;

– вимога не містить жодних обмежень. Випадок, коли вимога не містить у собі умови до конкретних обмежень щодо всіх компонент мети.

У виробничій діяльності створюється деяка виконавча система щодо визначеності компонент мети, зокрема, і моделі результату.

Мету реальних систем можна звести до трьох головних видів формального їх подання:

- необхідний кінцевий стан системи;
- необхідний порядок зміни станів;
- необхідний напрямок руху системи без фіксації кінцевої точки.

Після того як буде сформульована проблема, яку потрібно вирішити у ході виконання системного аналізу, звертаються до визначення мети.

Визначити мету – це означає відповісти на питання, що саме потрібно зробити для усунення проблеми. *Сформулювати мету* – це вказати напрям, в якому слід рухатися, щоб вирішити існуючу проблему, показати шляхи, що ведуть від існуючої проблемної ситуації.

У формуванні мети розвитку системи потрібно виконання таких умов, що є системою обмежень:

– сукупність усіх часткових цілей системи має бути виражена єдиною головною метою та формалізована у вигляді цільової функції, що є критерієм у порівнянні альтернативних варіантів вирішення проблеми;

– головна мета функціонування системи полягає в забезпеченні найбільш ефективного її функціонування, йдеться про компроміс між рівнем досягнення різних підцілей, який визначається на підставі виміру корисності кінцевих результатів і їх зіставлення із витратами ресурсів на отримання результатів;

– мета вирішення окремої проблеми є частковим вираженням мети функціонування системи, що частково враховує лише ті підцілі, на ступінь досягнення яких може вплинути вирішення даної проблеми;

– мета вирішення проблеми формулюється з урахуванням конкретних умов, в яких обирається та реалізується рішення.

Мета та умови вирішення проблеми мають бути визначені й формалізовані вже на першому етапі її розробки:

– виявлення і систематизація підцілей системи, вибір показників, які кількісно характеризують досягнення підцілей;

– уточнення умов вирішення проблеми та формування обмежень, з'ясування складу аргументів цільової функції, які варіюються, з урахуванням прийнятих обмежень;

– формування цільової функції, тобто конкретизація її залежності від аргументів на підґрунті співвиміру підцілей.

Дослідження мети зацікавлених у вирішенні проблем осіб має передбачати також можливості її уточнення, розширення чи навіть заміни, ця обставина є головною причиною ітеративності процесу цілепокладання.

У проведенні системного аналізу, зазвичай, будують дерево цілей. Головне завдання, яке вирішується завдяки побудові дерева цілей, – переведення складної і глобальної мети до скінченного набору дещо простіших модулів, для виконання яких можуть бути визначені конкретні завдання та проекти. Під терміном «дерево цілей» розуміють використання ієрархічної структури, здобутої через розподіл загальної мети на підцілі, а їх – на детальніші складові. Цей метод застосовується для структур, що дотримуються строгого порядку, але він може використовуватись і щодо слабких ієрархій, в яких одна й та сама вершина нижчого рівня може бути підлеглою одночасно двом чи кільком структурам вищого рівня.

Побудова і вибір критеріїв

Критерій – це спосіб порівняння альтернатив. Необхідно розрізняти поняття «критерій» і «критеріальна функція». Критерієм якості альтернативи може бути будь-яка її характеристика, значення якої можна зафіксувати в порядковій чи більш сильній шкалі [4].

Після того як критерій сформовано, тобто знайдена характеристика, яка може бути покладена в підґрунтя порівняння альтернатив, з'являється можливість ставити завдання вибору та оптимізації.

Завдання формування критеріїв вирішується безпосередньо після того, як сформульована мета на основі положень системного аналізу. Ситуація стає зрозумілою, якщо критерії сприймати як кількісні моделі якісних цілей. Завдання системного аналітика полягає в тому, щоб адекватно формалізувати проблемну ситуацію. Реалізації цього завдання є етапом формування критеріїв.

Часто у прийнятті рішень з використанням інструментарію системного аналізу виникає ситуація, коли неможливо запропонувати один критерій, який адекватно відображає мету дослідження: навіть одну мету рідко вдається виразити одним критерієм, хоча до цього необхідно прагнути.

Критерій, як і будь-яка модель, тільки наближено відображає мету, адекватність лише одного критерію може виявитись недостатньою. Тому необов'язково шукати найбільш адекватний критерій, можна використати кілька критеріїв, які описують одну мету, доповнюючи один одного.

Однак, у постановці та розв'язанні задач прийняття рішень з використанням методології системного аналізу слід урахувувати не тільки цілі, на розв'язання яких він спрямований, а й можливості, які надаються сторонам для розв'язання поставлених задач і які дозволяють зняти виявлені проблеми.

У формулюванні задачі з використанням інструментарію системного аналізу необхідно урахувувати аспекти збереження навколишнього середовища. Хоча довкілля й відіграє пасивну роль, слід брати до уваги, що будь-яка система існує всередині нього, взаємодіє з ним. Тому в постановці задачі системного аналізу потрібно керуватись принципом «не нашкодь», не робити нічого, що суперечило б законам природи. Щоб задовольнити умовам не перевищення кількості наявних ресурсів, у постановку відповідних завдань вводять обмеження. Між цільовими критеріями й обмеженнями існує як подібність, так і відмінності. Спільне полягає в тому, що і критерій, і обмеження – це математичні формулювання деяких умов. В окремих оптимізаційних задачах вони можуть бути рівноважними.

Однак, на етапі формування альтернатив цільовий критерій відкриває можливості як для генерування нових альтернатив, так і в пошуках кращої з них, а обмеження апріорі зменшує їх кількість, забороняючи деякі із них.

Як засіб, що дозволяє відшукати найкращі співвідношення між критеріями та обмеженнями, є використання ітераційних процедур. Після проведення певних обчислень і встановлення факту завищення вимог, які сформульовані в обмеженнях, можна ці вимоги знизити і спробувати розв'язати задачу заново.

Вироблення альтернатив досягнення мети

Даний етап системної парадигми є дуже важливим, оскільки необхідно згенерувати множину альтернатив, з яких потім буде здійснюватись вибір найкращого шляху розвитку аналізованої системи.

Альтернативами прийнято називати варіанти дій щодо досягнення мети, вирішення проблеми. Альтернативи – невід'ємна складова проблеми прийняття рішень: якщо немає з чого обирати, то немає вибору, немає ризику обрати не те.

Отже, для постановки задачі прийняття рішень необхідно мати хоча б дві альтернативи. Альтернативи розподіляють на допустимі та недопустимі. Допустимі альтернативи задовольняють обов'язкові обмеження і підлягають подальшому оцінюванню. Недопустимими вважаються такі альтернативи, що не задовольняють обов'язкових вимог та обмежень.

Альтернативи бувають незалежними і залежними. Незалежними вважають ті альтернативи, будь-які дії з якими не впливають на якість та інші параметри інших альтернатив. Для залежних альтернатив оцінки одних впливають на якість інших [11].

Найпростішою та очевидною є безпосередня групова залежність: якщо прийнято рішення розглядати хоча б одну альтернативу з деякої групи, то необхідно розглядати й усю групу. Так, плануючи розвиток міста, прийняття рішення щодо збереження історичного центру тягне за собою розгляд усіх варіантів його реалізації.

Задачі прийняття рішень суттєво різняться залежно від наявності альтернатив на момент вироблення стратегій прийняття рішень. Існують задачі, коли всі альтернативи вже задані, визначені та потрібно лише обрати кращу з цієї множини. Особливістю цих задач є наявність замкненої, що не розширюється, множини альтернатив.

Водночас існує багато задач іншого типу, коли всі альтернативи чи значна їх частка з'являються після прийняття основних рішень.

Коли альтернатив багато (сотні й тисячі), то увага ОПР не може детально зосередитись на кожній із них. У таких ситуаціях виникає необхідність щодо вироблення чітких правил вибору у процедурах використання альтернатив, у розробці системи правил, що дозволяє втілювати в життя несуперечливу та послідовну політику. Потреба в такому комплексі заходів існує й тоді, коли множина альтернатив відносно невелика (до 20). У таких задачах вибір траси газопроводу, плану розвитку міста основних альтернатив, з розгляду яких починається вибір, небагато. Але вони не є єдино можливими. Нерідко на їх підґрунті в процесі вибору виникають нові альтернативи. Первинні, основні альтернативи, не завжди задовольняють учасників процесу вибору. Однак, вони допомагають їм зрозуміти, чого конкретно не вистачає, що можна реалізувати в даній ситуації, а чого ні. Цей клас задач можна назвати задачами з конструйованими альтернативами.

Якщо до сформованої множини альтернатив не ввійшла найкраща, то жодні найдосконаліші методи аналізу не допоможуть її обрати. Трудність етапу зумовлена необхідністю генерації достатньо повної множини альтернатив, які містять з першого погляду такі, що не завжди реалізуються.

Існують такі способи генерації:

- пошук альтернатив у патентній та журнальній літературі;
- залучення кількох експертів, які мають різну підготовку та досвід;
- збільшення кількості альтернатив за рахунок їх комбінацій, утворення проміжних варіантів між запропонованими раніше;
- модифікація наявної альтернативи, тобто формування альтернатив, що лише частково відрізняються від відомої;
- включення альтернатив, протилежних запропонованим, зокрема, і нульової альтернативи (не робити нічого);

- інтерв'ю зацікавлених осіб та ширші анкетні опитування;
- включення до розгляду навіть тих альтернатив, які з першого погляду здаються надуманими;
- генерування альтернатив, розрахованих на різні інтервали часу (довготривалі, короткотривалі, екстрені).

Виконуючи роботу щодо генерації альтернатив, важливо створити сприятливі умови для співробітників, які виконують цей вид діяльності. Велике значення мають і психологічні чинники, що впливають на інтенсивність творчої діяльності, тому необхідно прагнути до створення сприятливого клімату на робочому місці співробітникам.

Ще однією проблемою, що виникає під час виконання робіт з формування множини альтернатив, є отримання на початковій стадії великої кількості альтернатив. Для докладного вивчення кожної із них знадобляться неприйнятно великі затрати часу та засобів. Тому в даному випадку бажано провести попередній аналіз альтернатив та спробувати звужити їх множину на ранніх етапах аналізу. На цьому етапі аналізу застосовують, загалом, якісні методи порівняння альтернатив.

Реалізація вибору та прийняття рішень

Мета застосування системної парадигми полягає в тому, щоб з використанням її інструментарію в кінцевому результаті здійснити вибір. Вибір та прийняття рішення є сутністю поставленої задачі системного аналізу, кінцевий результат усієї роботи.

Процедура прийняття рішення – дія над множиною згенерованих альтернатив. Бажано, щоб це була одна альтернатива. Звуження множини альтернатив можливе, якщо буде спосіб порівняння альтернатив між собою і визначення найбільш привабливих (пріоритетних). Для того, щоб була можливість порівняти альтернативи, потрібно знайти критерій привабливості.

До основних складностей, які виникають у розв'язанні задач вибору і прийняття рішення, можна віднести такі:

- множина може бути скінченною, зліченною чи нескінченною;
- оцінювання альтернативи може здійснюватися за одним чи кількома критеріями;
- критерії можуть мати кількісний вираз чи допускати лише якісне оцінювання;
- режим вибору може бути однократним чи повторюватись, тобто таким, що допускає навчання через досвід;
- наслідки вибору можуть бути відомі точно, мати ймовірнісний характер чи мати неоднозначний результат, який заперечує введення ймовірностей.

Різні сполучення названих варіантів приводять до різноманіття задач вибору. Для розв'язання задач вибору пропонуються різні підходи, найбільш поширений із яких – критеріальний підхід.

Головне положення критеріального підходу можна сформулювати так: кожна окремо взятую альтернативу можна оцінити конкретним числом – значенням критерію. Критерії, на підґрунті яких здійснюється вибір, мають різні назви – критерій якості, функції: цільова, переваг, корисності. Задача зводиться до порівняння результатів обчислень відповідних критеріїв.

У науці про прийняття рішень вважається, що варіанти рішень характеризуються різноманітними показниками їхньої привабливості для ОПР. Ці показники називають ознаками, чинниками, атрибутами чи критеріями. Домовимося, що надалі будемо використовувати термін «критерій».

Критерії оцінювання альтернатив – це кількісні і/або якісні показники, що їх використовують для порівняння альтернатив з позиції рівня їхнього наближення до мети, або показники привабливості (чи непривабливості) кожної з альтернатив для учасників процесу вибору (прийняття рішення).

Для прийняття рішень в умовах невизначеності, конфлікту та зумовленого ними ризику (для вирішення слабоструктурованих проблем) існує велика кількість опрацьованих критеріїв.

Постає завдання вибору критеріїв (підмножини) з величезної кількості відомих, для їх використання у прийнятті рішень. Зокрема, для прикладу, можна назвати такі: Байєса, Гермейєра, Гурвіца, Лапласа, максимаксу, Вальда, Севіджа, Ходжеса-Лемана. Критерії можуть бути незалежними або залежними. Незалежними називаються критерії, у яких оцінка альтернативи за одним із них визначає оцінку за іншим критерієм. Залежність між критеріями призводить до появи цілісних образів альтернатив, які мають для кожного з учасників процесу вибору певний сутнісний зміст.

На складність завдань прийняття рішень впливає також кількість критеріїв. При невеликій кількості критеріїв (два-три) завдання порівняння двох альтернатив є відносно простим, якості за критеріями можуть бути безпосередньо порівняні та вироблено компроміс. Однак, і у цьому випадку існує низка проблем. Не дарма розвивається такий науковий напрямок, як багатоцільові та багатокритеріальні методи та моделі прийняття рішень.

За наявності великої кількості критеріїв задача прийняття рішень стає складною (надскладною). Тут діють різні підходи, зокрема, критерії можуть бути об'єднані в групи, що мають конкретне змістове навантаження.

Підґрунтям для групування критеріїв слугує оцінка конкретної інформаційної ситуації, можливість виявити плюси та мінуси альтернатив, їх позитивні якості та недоліки. Такі групи, зазвичай, незалежні. Виявлення структури на множині критеріїв робить процес прийняття рішень більш осмисленим та ефективним.

Оцінювання альтернатив – порівняння між собою альтернатив вирішення проблеми та виявлення кращого за визначеним переліком критеріїв варіанта. Використання критеріїв для оцінювання альтернатив потребує визначення градацій якості: кращих, гірших, середніх (проміжних) оцінок. Тобто існують шкали оцінок за критеріями.

Однак, на практиці складність відшукування найкращої альтернативи багатократно зростає, оскільки оцінювання варіантів доводиться проводити на підставі декількох критеріїв, які якісно відрізняються один від одного. У цій ситуації необхідно вирішувати багатокритеріальні задачі. Підходи до розв'язання таких задач відомі – це метод зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної, метод умовної максимізації, пошук альтернативи з заданими властивостями.

Вирішуючи задачі вибору та прийняття рішень, необхідно враховувати обставини, за яких здійснюється вибір, і обмеження задачі, оскільки їх зміна може призвести до зміни розв'язку за умови, що критерій один.

Впровадження результатів аналізу

Кінцевою метою застосування системного аналізу, як відомо, є прийняття рішень щодо зміни існуючої ситуації згідно з поставленою метою. Остаточне судження про правильність і корисність системного аналізу можна зробити лише на підставі результатів його практичного застосування. Кінцевий результат буде залежати не тільки від того, наскільки досконалі та теоретично обґрунтовані методи та моделі, які застосовуються для проведення аналізу, але і від того, наскільки грамотно, ретельно обґрунтовані та реалізовані результати.

Варто зазначити, що реалізація прийнятих рішень впливає на чинники функціонування системи. Етапи дослідження та впровадження в системах фактично зливаються, тобто відбувається ітеративний процес. Дослідження, що проводяться, впливають на життєдіяльність системи, це видозмінює проблемну ситуацію, ставить нове завдання досліджень.

Нова проблемна ситуація стимулює подальше застосування системної парадигми. Іншими словами, проблема поступово вирішується в процесі активного дослідження та прийняття раціональних рішень.

3.4 Багатокритеріальні задачі прийняття рішень

Більшість задач з розробки рішень у складних ситуаціях передбачають аналіз не однієї, а багатьох властивостей результатів, причому кожна ознака описується з використанням окремого показника ефективності рішення, що приймається. Такі задачі, коли рішення приймається не за одним, а за кількома показниками ефективності, називаються *багатокритеріальними*.

Багатокритеріальні задачі можуть вирішуватись як в умовах визначеності, так і невизначеності. Подібні задачі виникають у ході проектування, експлуатації та аналізу перспектив розвитку організацій зв'язку і транспорту, розподілу ресурсів, управління галузями промисловості, організації наукових досліджень, розробка цільових програм.

Зазвичай, більшість вимог до покращення значень суперечать одна одній. Наприклад, прагнення збільшити надійність системи призводить до збільшення вартості, яку бажано зменшити; вимога скоротити терміни проектування та введення в експлуатацію організацій різного профілю може погіршити виробничі показники; вимога до підвищення оперативності обробки інформації суперечить вимогам щодо підвищення достовірності її обробки. У цих випадках необхідне використання спеціальних методів пошуку оптимального рішення, які відрізняються від методів розв'язання однокритеріальних задач.

Рішення (стратегія), що приймається, є результатом спільного розгляду цілей і можливостей та їх узгодження.

Для використання математичних методів у аналізі, оцінюванні, управлінні та прийнятті рішень складові задачі вибору повинні мати адекватне відображення в математичній моделі.

Переважною є концепція, згідно з якою ціль – це напрям розвитку системи (так звана *ціль-напрямок*).

Досить поширеною є інша інтерпретація, коли ціль – це деякий наперед визначений стан, якого необхідно досягти певній системі (так звана *ціль-стан*).

Зазначимо, що *ціль-напрямок* (надалі – *ціль*) дозволяє порівнювати альтернативні стратегії і, як наслідок, – вибрати найкращу, що найбільшою мірою забезпечує максимальне наближення до бажаного стану (*ціль-стану*).

Найбільш загальні моделі, що переважно використовуються в прийнятті рішень, мають якісний характер і/або фіксують результати порівняння альтернативних рішень (стратегій) у контексті цілей аналізованої системи, або аналітично описують результати вибору із множини альтернативних рішень.

У першому випадку ціль описується як бінарні відношення на множині альтернативних рішень і станів середовища, у другому – функцією виграшу.

Поряд з якісним описом цілей як у теоретичних дослідженнях, так і на практиці математичного моделювання досить поширені кількісні моделі. Найпростішою та найпоширенішою моделлю такого типу є *цільова функція* (функціонал оцінювання), яка ставить у відповідність кожному альтернативному рішенню і стану середовища дійсне число.

Побудова цільової функції (функціонала оцінювання) досліджуваної системи – це досить складна задача. Проблеми, що виникають при цьому, зумовлені багатовимірним характером цілей соціально-економічного розвитку, кінцевих результатів та наслідків діяльності.

За цих умов *узагальнена ціль* системи, якщо вона допускає вербальне формулювання, з труднощами втілюється у вигляді скалярної цільової функції. Тому замість узагальненої цілі доводиться розглядати *систему цілей* (*векторну цільову функцію*), виділяючи її складові більш прості *часткові цілі*, моделювати які через побудову цільових функцій (функціоналів оцінювання) уже не так проблематично.

У свою чергу, різнобічні інтереси (цілі) ОПР спричиняють конфлікти між ними та обумовлений цим ризик. Наприклад, формуючи стратегію, як правило, беруть до уваги різноманітні цілі, узгоджуючи суперечливі вимоги, зумовлені обставинами.

Описаний підхід є засобом подолання об'єктивно існуючої розбіжності між складністю цілей досліджуваних систем та обмеженими можливостями їх математичного моделювання. Водночас помилковим вважається намагання пов'язати виникнення багатоцільових задач зі специфікою математичного методу дослідження проблем.

Множинність цілей досліджуваних систем має об'єктивний характер та знаходить своє модельне відображення у вигляді задачі прийняття багатоцільових багатокритеріальних рішень.

3.5 Нечітка багатокритеріальна ієрархічна модель прийняття рішень

Майже кожна більш-менш складна задача прийняття рішення (індивідуального або колективного) є задачею прийняття рішень в умовах ризику за наявності багатьох критеріїв [15].

Задача оцінки скінченної множини варіантів (стратегій) і векторної оптимізації пов'язана з невизначеністю за спроби виявити взаємну (відносну) важливість різних аспектів (критеріїв) щодо прийняття рішень.

У наукових публікаціях щодо прийняття рішень сполучення термінів «багатокритеріальний» і «нечіткий» зустрічаються досить часто. Однак, більшість авторів, сформулювавши на початку аналізу задачу прийняття рішень як нечітку та багатокритеріальну, вже на першому ж кроці її розв'язання використовують певну згортку критеріїв і надалі вивчають скалярну нечітку задачу прийняття рішень. Згортки, як правило, вводяться інтуїтивно, на підставі здорового глузду, залежно від змісту конкретної задачі, раціональних суджень.

Наведений далі алгоритм є модифікацією методу аналізу ієрархій (MAI), у якому використовується понятійний та математичний апарат теорії нечітких множин. Завдяки цьому стає можливим безпосереднє оперування різного роду вербальними (лінгвістичними) даними.

Алгоритм складається з таких основних кроків:

Крок 1. Формування багаторівневої ієрархічної структури, яка містить інтегрований критерій, часткові критерії та об'єкти (проекти, стратегії) дослідження та впорядкування (вибору).

Крок 2. Побудова матриць попарних порівнянь з нечіткими оцінками для елементів, які перебувають на окремих рівнях ієрархії.

Крок 3. Обчислення значень вагових коефіцієнтів (векторів пріоритетів), кожного з елементів ієрархічної структури з погляду елемента, який перебуває на безпосередньо вищому рівні ієрархії.

Крок 4. Обчислення вектора пріоритетів, який визначає нечіткі оцінки аналізованих об'єктів (проектів, стратегій) з погляду інтегрованого критерію.

Крок 5. Упорядкування досліджуваних об'єктів (проектів) відносно величини нечітких оцінок.

3.6 Використання генетичних алгоритмів та штучних нейронних мереж у прийнятті рішень

Коли ОПР необхідно вирішити деяку проблему, вона відносить її до певного класу проблем та шукає оптимальний інструментарій для вирішення.

Як правило, великий досвід різних практиків, науковців, дослідників у вирішенні проблем деякого класу за допомогою різних засобів дозволяє говорити про оптимальність того чи іншого інструментарію. Зазначимо, що під час вирішення проблем той чи інший інструментарій буде ефективним, але завжди існує спокуса поєднати якісний інструментарій для отримання ймовірно більш ефективного інструментарію [15, 16].

Розглянемо сумісне використання генетичних алгоритмів та штучних нейронних мереж. Вони можуть використовуватися у вирішенні проблеми послідовно один за одним і така ситуація називається допоміжним об'єднанням, або одночасно – рівноправне об'єднання.

Допоміжне об'єднання може включати такі варіанти сумісного використання:

- нейронні мережі для забезпечення генетичних алгоритмів (приклад використання: формування вихідної популяції для генетичного алгоритму);

- генетичні алгоритми для забезпечення штучних нейронних мереж (приклади використання: аналіз штучних нейронних мереж, підбір параметрів або перетворення простору параметрів, підбір параметрів або правила навчання).

Під час рівноправного об'єднання можливі такі варіанти одночасного використання:

- генетичні алгоритми для навчання штучних нейронних мереж (приклад використання: еволюційне навчання мережі – еволюція ваг зв'язків);

- генетичні алгоритми для вибору топології нейронної мережі (приклад використання: еволюційний підбір топології мережі – еволюція мережевої архітектури);

- системи, що об'єднують адаптивні стратегії генетичних алгоритмів і штучних нейронних мереж (приклади використання: штучні нейронні мережі для вирішення оптимізаційних задач із використанням генетичного алгоритму для підбору ваг мережі, реалізація генетичного алгоритму за допомогою нейронної мережі, застосування нейронної мережі для реалізації оператора схрещування у генетичному алгоритмі).

Крім того, генетичні алгоритми та штучні нейронні мережі можуть незалежно застосовуватися для вирішення однієї й тієї самої задачі.

Наприклад, у науковій літературі описані незалежні використання штучних нейронних мереж, генетичних алгоритмів та алгоритму k найближчих сусідів для вирішення задач класифікації. Зокрема, проводилися порівняння тришарової однонаправленої штучної нейронної мережі з навчанням за методом зворотного поширення похибки (навчання з учителем), штучної нейронної мережі Кохонена із самоорганізацією (навчання без учителя), системи класифікації, що ґрунтується на генетичному алгоритмі, а також алгоритму k найближчих сусідів. Крім того, прикладом задачі, яку можна вирішити як за допомогою штучних нейронних мереж, так і генетичних алгоритмів є задача комівояжера.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах: учебник / О. И. Ларичев. – М. : Логос, 2000. – 296 с.
2. Ларичев О. И. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений / О. И. Ларичев, Е. М. Мошкович. – М. : Наука. Физматлит, 1996. – 208 с.
3. Розен В. В. Цель – оптимальность – решение (математические модели принятия оптимальных решений) / В. В. Розен. – М. : Радио и связь, 1982. – 168 с.
4. Творошенко І. С. Конспект лекцій з дисципліни «Технології підтримки прийняття рішень в геоінформаційних системах» для студентів 1 курсу денної форми навчання спеціальності 193 – Геодезія та землеустрої спеціалізації (освітньої програми) – «Геоінформаційні системи і технології» / І. С. Творошенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 79 с.
5. Воробйов С. А. Теорія прийняття рішень. класичні підходи: навч. посібник / С. А. Воробйов, С. О. Мар'їн, О. С. Пономаренко. – Харків : ХТУРЕ, 2000. – 196 с.
6. Петров Э. Г. Методы и средства принятия решений в социально-экономических и технических системах: учеб. пособие / Э. Г. Петров, М. В. Новожилова, И. В. Гребенник, Н. А. Соколова. – Херсон : «ОЛДІ-плюс», 2003. – 380 с.
7. Макаров И. М. Теория выбора и принятия решений: учеб. пособие / И. М. Макаров, Т. М. Виноградская, А. А. Рубчинский, В. Б. Соколов. – М. : Наука, 1982. – 328 с.
8. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений: учебник / О. И. Ларичев. – М. : Логос, 2000. – 296 с.
9. Творошенко И. С. Структура и функции интеллектуальных средств принятия решений в сложных системах / И. С. Творошенко // Искусственный интеллект. – 2004. – № 4. – С. 462-470.
10. Кучеренко Е. И. Интеллектуальные технологии в задачах принятия решений технологических комплексов на основе нечеткой интервальной логики / Е. И. Кучеренко, В. А. Филатов, И. С. Творошенко, Р. Н. Байдан // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 2. – С. 92-96.

11. Кігель В. Р. Методи і моделі підтримки прийняття рішень у ринковій економіці: монографія / В. Р. Кігель. – Київ : ЦУЛ, 2003. – 202 с.
12. Мулен Э. Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели: пер. с англ. / Э. Мулен. – М. : Мир, 1991. – 464 с.
13. Mathematics and politics: strategy, voting, power and proof / Alan D. Taylor – New York : Springer-Verlag, 1995. – 284 p.
14. Творошенко И. С. Анализ процессов принятия решений в интеллектуальных системах / И. С. Творошенко // Системы обработки информации. – 2010. – Вып. 2 (83) – С. 248-253.
15. Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем / В. Д. Шипулін. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 312 с.
16. Светличный А. А. Географические информационные системы: учеб. для вузов / А. А. Светличный, В. Н. Андерсон, С. В. Плотницкий. – М. : Недра, 1996. – 122 с.
17. Методи та системи підтримки прийняття рішень в управлінні еколого-економічними процесами підприємств : навч. посібник / В. С. Пономаренко, Л. А. Павленко, О. М. Беседовський та ін. – Харків : ХНЕУ, 2012. – 272 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки

для виконання практичних, розрахунково-графічної та самостійної робіт
з навчальної дисципліни

«ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ»

*(для студентів I курсу денної форми навчання
спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій
спеціалізації (освітньої програми) «Геоінформаційні системи і технології»)*

Укладач **ТВОРОШЕНКО** Ірина Сергіївна

Відповідальний за випуск *К. О. Метешкін*

За авторською редакцією

Комп'ютерний набір *І. С. Творошенко*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2016, поз. 39 М

Підп. до друку 07.12.2016 р.

Формат 60×84/16

Друк на ризографі

Ум. друк. арк. 5,8

Зам. №

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014 р.